



**BILBOKO INDUSTRIA INGENIARITZA TEKNIKOKO
UNIBERTSITATE ESKOLA**



INGENIARITZA ELEKTRIKOKO GRADUA:

GRADU AMAIERAKO LANA

2014 / 2015

*IMAN IRAUNKORREKO FLUXU AXIALEKO SORGAILU
BATEN DISEINU, KALKULU ETA ERAIKUNTZA*

***MEMORIA
KALKULUAK
PROTOTIPOAREN ERAIKUNTZA
PLANOAK
AURREKONTUA
ERANSKINAK***

IKASLEAREN DATUAK

IZENA: JOSEBA

ABIZENAK: LLANO HERNAIZ

SIN.:

DATA: 2015-09-04

ZUZENDARIAREN DATUAK

IZEN ABIZENAK:

ZALOA AGINAKO ARRI

JOSEBA SAINZ DE MURIETA MANGADO

SAILA:

INGENIARITZA ELEKTRIKOA

SISTEMEN INGENIARITZA ETA AUTOMATIKA

SIN.:

DATA: 2015-09-04

GRADU AMAIERAKO LANA INGENIARITZA
ELEKTRIKOKO GRADUAN

IMAN IRAUNKORREKO FLUXU
AXIALEKO SORGAILU BATEN
DISEINU, KALKULU ETA
ERAIKUNTZA

Egilea: Joseba Llano Hernaiz

Euskal Herrian, 2015eko irailaren 2an

Zuzendariak: Zalua Aginako Arri eta Joseba Sainz de Murieta Mangado

RESUMEN:

Este documento se presenta como Trabajo Fin de Grado para la obtención del Título de Grado en Ingeniería Eléctrica en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao de la UPV-EHU. En él se describe el estudio, cálculo, diseño y construcción de un generador de flujo axial de imanes permanentes para la carga de pequeños dispositivos electrónicos, que funcionará movido por una turbina eólica. Este proyecto se ha llevado adelante como un trabajo de estudio e investigación teórico y práctico sobre aerogeneradores de imanes permanentes. Así mismo, forma parte de un proyecto más general denominado e-Betez y en el que se pretenden diseñar y construir sistemas que, mediante el uso de energías renovables, permitan la carga de pequeños dispositivos electrónicos, teniendo en cuenta todas las partes del sistema: generación de energía eléctrica, rectificación y regulación, carga y visualización. Todo ello con criterios de trabajo Open Source.

ABSTRACT:

This document is presented as a Final Project to obtain the Degree in Electrical Engineering at the School of Industrial Engineering in the UPV-EHU in Bilbao. In this project it is described the study, calculation, design and construction of an axial flow generator with permanent magnets to charge small electronic devices, which operates moved by a wind turbine. This project was carried out as a work of study about the theoretical and practical research on wind turbines with permanent magnets. Besides, it is part of a wider project called e-Betez which is intended to design and build systems using renewable energy that allow the charge of small electronic devices considering all parts of the system: electrical power generation, rectification and regulation, load and display. All this criteria under Open Source work.

LABURPENA:

Lan hau EHUko Bilboko Industri Ingeniaritza Teknikorako Unibertsitate Eskolan Ingeniaritza Elektrikoko Gradua lortzeko Gradu Amaierako Lana giza aurkezten da. Bertan, dispositibo elektroniko txikiak kargatzeko fluxu axialeko iman iraunkorreko sorgailu baten ikerketa, kalkulua, diseinu eta eraikuntza deskribatzen delarik. Sorgailu elektrikoa mugitzeko turbina eoliko erabiliko da. Proiektu hau, iman iraunkorreko aerosorgailuei buruzko ikerketa eta azterketarako lanak bezala burutu da. Aldi berean, proiektu hau e-Betez izeneko egitasmo zabalago baten parte da, horretan, energia berriztagarriak erabiliz dispositibo elektronikoak kargatzeko sistemen diseinu eta eraikuntza aurrera eraman nahi da. Sistemako zati guztiak kontuan hartuz: energia elektrikoaren sorkuntza, artezketa, erregulazioa, karga eta bistaratzea. Dena Open Source-ko irizpideen arabera lan eginez.

Gaien Aurkibidea

1. MEMORIA	1
1.1. LANAREN JUSTIFIKAZIOA	2
1.2. LANAREN HELBURUAK	3
1.2.1. Helburu orokorra	3
1.2.2. E-BETEZ - BURUTEK	4
1.2.3. Helburu espezifikoak	6
1.3. LANAREN IRISMENA	6
1.4. AZALPEN OROKORRA	7
1.5. AURREKARIAK	8
1.5.1. EGUNGO ENERGIA EREDUA	8
1.6. ARTEAREN EGOERA (STATE OF THE ART)	11
1.6.1. Kargagailuak eta mikroelika komertziala	12
1.6.2. Ardatz bertikaleko turbinak	13
1.6.3. Ardatz horizontaleko turbinak	16
1.6.4. Alternadoreak	18
1.7. MARKO TEORIKOA	19
1.7.1. HAIZEA ETA BERE EZAUGARRIAK	19
1.7.2. ENERGIA BERRIZTAGARRIAK	27
1.7.3. ENERGIA EOLIKOA	29
1.7.4. AEROSORGAILU MOTAK	32
1.7.5. Potentziaren arabera aerosorgailu motak.	32
1.7.6. Ardatzaren orientazioaren arabera aerosorgailu motak	34
1.7.7. Aerosorgailuen arteko konparaketa.	39
1.7.8. SORGAILU ELEKTRIKOAK	43
1.7.9. Aerosorgailu baten funtzionamenduaren oinarri fisikoa	52
1.7.10. MAGNETISMOA	58
2. SORGAILUAREN KALKULUAK ETA DISEINUA	63
2.1. SARRERA	64
2.1.1. HARTUTAKO IRTENBIDEA	64
2.2. HAIZEAREN DATUAK	65

2.3. ENERGIA / POTENTZIAREN BEHARRAK	66
2.4. TURBINAREN DIMENTSIOEN ESTIMAZIOA	66
2.5. TURBINAREN ABIADURA	68
2.6. POLO KOPURUA ETA MAIZTASUNA.	69
2.7. IMANAK	71
2.8. HARILAK	73
2.9. INDAR ELEKTROERAGILEA	75
2.10. INTENTSITATE MAXIMOA	78
2.11. HARI EROALEA	79
2.12. HARILEN ESPIRA KOPURUA	80
2.13. IRTEERAKO TENTSIOA	85
2.14. HARILEN LUZERA ETA ERRESISTENTZIA.	86
2.15. GALERA ELEKTRIKO ETA MAGNETIKOAK	87
2.16. ALTERNADOREAREN DIMENTSIOAK	91
3. PROTOTIPOAREN MUNTAIA ETA SAIKUNTZA PROBA	95
3.1. IMANAK	96
3.2. HARILEN ERAIKUNTZA	97
3.3. ERROTOREKO DISKOAK	99
3.4. ESTATOREA	100
3.5. ARDATZA ETA BIRAKETA SISTEMA	102
3.6. EUSKARRIA	102
3.7. MUNTAIA	103
3.8. SAIKUNTZA	104
4. AURREKONTUA	107
4.1. AURREKONTUAREN PARTIDAK	108
5. ONDORIOAK ETA ETORKIZUNERAKO LAN ILDOAK	111
5.1. ONDORIOAK	112
5.2. ETORKIZUNERAKO LAN ILDOAK	113
6. BIBLIOGRAFIA ETA INFORMAZIO ITURRIAK	115
7. PLANOAK	121
A. ERANSKINAK	129
A.1. HAIZEAREN DATUAK	130
A.2. MATERIALEN EZAUGARRI TEKNIKOAK	134
A.3. KALKULU TAULAK	137

Irudien Zerrenda

1.1. Mundu mailako energia kontsumoa 1900etik hona eta aurreikuspena	3
1.2. e-Betez proiektuaren logoa.	4
1.3. Mundu mailako energia kontsumoa iturrien arabera.	9
1.4. Mundu mailako petrolio kontsumoa herrialdeka	10
1.5. Eguzkiak sortutako presioen aldakuntza	20
1.6. Haizearen abiaduraren aldaketa altuera eta orografiaren arabera	21
1.7. Bilboko haizearen norabideen distribuzioa, <i>haizeen arrosa</i>	22
1.8. Weibull distribuzioa	23
1.9. Aerosorgailuaren potentzia, helizearen diametroaren arabera.	26
1.10. Estatuko behar energetikoaren estaldura.	30
1.11. Mundu mailan instalatutako potentzial eolikoak	30
1.12. Energia eolikoaren produkzioaren eboluzioa Espainian	31
1.13. Munduan Instalatutako aerosorgailuen batez besteko potentzia.	31
1.14. Ardatz horizontaleko aerosorgailu motak.	34
1.15. Aerosorgailu baten zatiak.	36
1.16. Ardatz bertikaleko aerosorgailu motak.	37
1.17. Haizearen indarrak savonius turbina batean	38
1.18. Savonius klasikoaren hobekuntza diseinuak.	38
1.19. Darreius turbina.	39
1.20. Giromill turbina mota desberdinak.	40
1.21. Turbinen konparaketa C_p et TSR parametroen arabera	43
1.22. Aerosorgailu baten kurba.	43
1.23. Espira biraka eremu magnetiko batean	44
1.24. Fluxu erradialeko sorgailuak.	46
1.25. Fluxu axialeko sorgailuaren eskema.	47
1.26. Lorentz: eroale zatia eremu magnetiko batean	48
1.27. Imanaren mugimendua harilarekiko	48
1.28. Imanaren mugimendua espiraren aurrean 1	49
1.29. Imanaren mugimendua espiraren aurrean 2	49
1.30. Imanaren mugimendua espiraren aurrean 3	50
1.31. Bi imanen mugimendua espira baten aurretik.	50

1.32. Imanen ilara bi espiren aurretik pasatzen.	50
1.33. Imanak eroale multzoaren aurretik	52
1.34. Lenz legea	55
1.35. Zenbait materialen magnetizazio kurba.	59
1.36. Iman baten B-H kurba eta beste parametroak.	60
1.37. Material baten histeresi kurba.	60
1.38. Lur arrarozko imanen magnetizazio kurbak	61
2.1. Iman iraunkorreko fluxu axialeko sorgailu baten zatiak.	65
2.2. Imanak eta eremu magnetikoa.	65
2.3. Sistemaren eskema	67
2.4. Savonius errotorearen dimentsioak	68
2.5. Iman baten fluxu magnetikoa kalkulatzeko formula	72
2.6. Iman eta harilen kokapena	74
2.7. Tentsio trifasikoa sortzeko harila-imanen kokapena 2 polo eta p poloekin.	74
2.8. Iman eta harilen kokapena eta desfasea sorgailuan	75
2.9. Eroale zatia biraka, orriarekiko perpendikularra den eremu magnetiko batean	76
2.10. Imana eta harilaren kokapena eta dimentsioak	76
2.11. Harilen konexioa estatorean.	81
2.12. Harilaren betetze faktorea	82
2.13. Diskoen diametroen kalkulua, iman eta harilaren kopuru eta tamainaren arabera.	83
2.14. Harilaren dimentsioak eta besoaren sekzioa	83
2.15. Estatore eta errotorearen arteko distantziak.	84
2.16. Histeresi-galerak adierazten dituen kurba	88
2.17. Errotorearen dimentsioak	92
2.18. Estatorearen dimentsioak	93
2.19. Diskoen kokapena	93
2.20. Sorgailuaren muntaia.	94
3.1. Imanak	97
3.2. Harilak egiteko moldea	98
3.3. Harilkatzeko makina	98
3.4. Harilak	99
3.5. Errotoreko diskoa imanekin	100
3.6. Diskoak eta zilindro txikia	100
3.7. Estatorearen diseinua eta argazkia	101
3.8. Estatorea eta harilak.	101
3.9. Ardatza eta errodamenduak.	102
3.10. Euskarria ziri harilkatuen bitartez	103

3.11. Muntaia II	103
3.12. Muntaia II	104
3.13. Balio teoriko eta errealen arteko konparaketa	106

Taulen Zerrenda

1.1. Haizearen abiadura Beafourt eskalaren arabera	21
1.2. Aerosorgailuen arteko konparaketa.	41
2.1. Abiaduraren araberako polo kopurua eta maiztasunaren balioak	70
2.2. Fluxu magnetikoaren balioak distantzia desberdinetan	73
2.3. Tentsio motak eta beraien arteko erlazioa.	78
2.4. Estatore eta errotorearen dimentsioen kalkuluak	84
2.5. Induzitutako IEE eta irteerako tentsioa	86
2.6. Harilen luzera eta erresistentzia	87
2.7. Potentzia galerak	89
2.8. Sorgailuaren azken dimentsioak	91
3.1. Irteerako tentsioaren balio errealak	105
3.2. Irteerako tentsioaren balio teorikoak	105
4.1. Materialaren kostua	109
4.2. Tailerreko lanen kostua	110
4.3. Prototipoaren eraikuntzaren kostua.	110

1. MEMORIA

1.1. LANAREN JUSTIFIKAZIOA

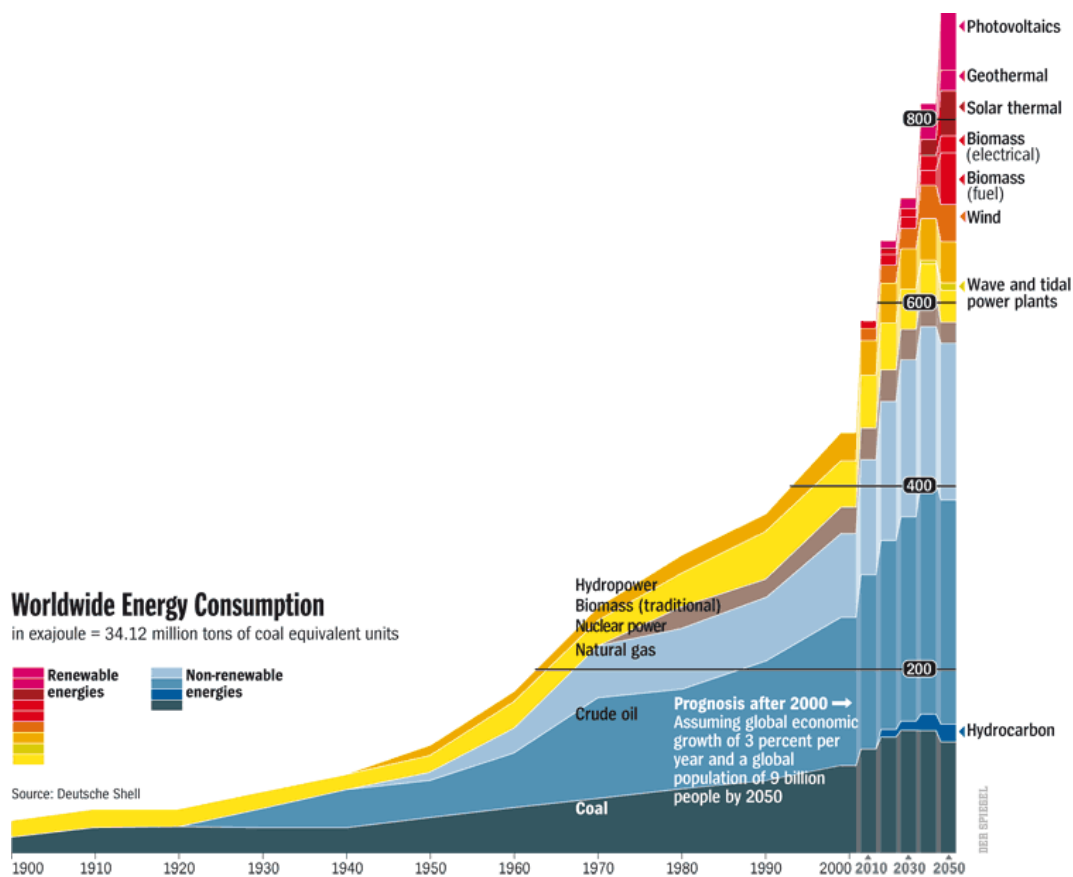
Duela urtebete, Gradurako egokitzapen prozesuaren barruan gradu amaierako lana burutzeko garaia ailegatu zenean, bi aukera agertu zitzaizkidan nire aurrean, ohiko bidea hartu, arruntagoak diren proiektu bat aukeratuz, 22 urte lehenago Ingeniaritza Teknikoko titulua eskuratu nuenean egin nuen bezala, edo une honetan niretzat motibagarriagoa den gai bati heldu eta proiektu berri bat osatu.

Lehen aukera, ohikoari heltzeak, konplikazio gutxiago zekarkidan, baino motibazioan aldiz, proiektua egin ahal izateko hutsune nabarmena nuela sumatzen nuen. Bigarren bidean, nire gogoarekin bat egiten duen gai bati helduz, aukera guztiak zabalik nituen nire aurrean: ingeniartzako gai eta eremu ezberdinak aztertu, hurbileko gai bati heldu, eta ikuspegi motibagarria eman niretzat proiektu erakargarria osatu. Hor kokatzen zen, hain zuzen, ere E-betez eolikoa egitasmotik jaso nuen proposamena.

Egoera horretan, hiru izan dira proiektua definitzerakoan buruan izan nuen lan ildo nagusiak:

- ▷ **Energia berriztagarriak lantzea:** Gaur egun gure gizarteak badu erronka handia energiaren kontsumoa eta ekoizpenarekiko. Gure bizimoduaren aldaketaren eraginez, azken mendeetan energiaren kontsumoak gora egin du ikaragarri. Gizartearen garapena, arlo produktiboan batez ere, energia premiak handitu ditu. Une honetan herrialde garatuetan dagoen sistema produktiboa martxan mantendu ahal izateko, energia kantitate ikaragarriaz elikatu behar da. Panorama honetan Ingeniaritza arloak energia kontsumoaren murrizketa eta produkzioarako energia berriztagarrien erabileraren aldeko norabidean lan egitea ezinbestekoa da etorkizunari begira.
- ▷ **Open-Source filosofiaren barruan lan egitea:** Honen arabera, lana elkarkidetzan eginga eta ezagutza irekiaren printzipioen arabera eramaten da aurrera, eta ezagutza horri sarbidea edozeinentzako irekia uzten da. "Konponduta dagoen arazoa ez dadila izan beste batentzako arazo". Era honetan, egitasmoa aurrera ateratzeko erabilitako tresnak libreak izan behar dira (open softwarea eta open hardwarea). Gainera, lana taldeka eta elkar-ekintzan egiten da. Open Source-ren mugimendua 90 hamarkadan sortzen da eta interneteko mundutik gertu agertu bazen ere, gaur egun arlo industrialera zabaldu den filosofia da hau. Honen baitan kokatzen da adibidez DIY "Do it yourself" bezalako mugimenduak.
- ▷ **Izaera didaktikoa ematea proiektuari:** aurreko bi puntuen sozializazio eta zabalkundea eman ahal izateko, proiektua izaera hezigarria izan behar du. Beraz, arlo teorikotik arlo praktikora saltoa eman beharko da, sorgailu elektrikoaren prototipo bat eraikiz eta martxan jarritz.

Aurreko hari guztiak ondo lotzen zituen EHUko Kanpusen arteko *e-Betez eolikoa* ekimenak. Beraz, interesen batuketa bat eman zen lan honen definizioa egiterakoan: batetik nire gradu



Irudia 1.1.: Mundu mailako energia kontsumoa 1900etik hona eta aurreikuspena

amaierako lana egin beharrarena, eta bestetik, *e-Betez* egitasmoak energia berriztagarrien inguruan aurrera eraman nahi zuen ekimenarena.

Hasiera batetik, lan honen izaera iman iraunkorreko aerosorgailuaren ikerketa eta azterketa teoriko zein praktikoa egitea izan da, bukaeran prototipoa eraikiz. Beraz, ez da bilatu ohiko aerosorgailu komertzial baten diseinuaren proiektu osoa egitea. Honegatik hain zuzen ere, dokumentu honek, egindako lanaren proiektuaren txosten teknikoa izateko borondatea duen arren, ez du betetzen ohiko proiektu teknikoaren araudi osoa, txostenaren formatuari dagokionean batez ere.

1.2. LANAREN HELBURUAK

1.2.1. Helburu orokorra

Lan hau, *e-Betez* izeneko egitasmo zabalago baten parte da, eta konkretuki *e-Betez eolikoa*. Egitasmo horrek, dispositibo elektronikoko txikiak kargatzeko sistema eoliko baten atal guztiak diseinatzea eta eraikitzea du helburu nagusia: haize turbinak, sorgailu elektrikoak, artezketa-erregulazio sistema, eta energiaren fluxua bistartzeko sistema.



Irudia 1.2.: e-Betez proiektuaren logoa.

Lan honen helburu nagusia, aurreko egitasmoaren barruan kokatuta, haizearen energia erabiliz **dispositibo elektronik txikiak kargatzeko potentzia baxuko sorgailu elektriko baten diseinu, kalkulu eta eraikitzea da**. Hasierako beharretatik abiatuta, eta proiektua kokatuta egongo den tokiko haizearen abiadura eta turbinaren dimentsio zehatzak kontuan hartuz, sorgailu elektrikoa eraikitzeke posibilitate ezberdinak ikertu eta aukerarik egokiena hautatzea. Sistemaren diseinua haize abiadura txikian elektrizitatea sortzeko ahalmena duen sorgailura bideratuko da, era horretan transmisio mekanikoa ekidinez.

Aurrekoaren ondoren, diseinuan egindako kalkuluetatik abiatuta, prototipo funtzionala eraikiko da: eraikitzeke irtenbide desberdinak aztertu, material egokienak aukeratuz eta prozesu konstruktibo egokiena jorratuz. Bukatzeko, laborategian saiakuntza probak egingo ditugu teoriarik lortutako datuak eta errealitateko datuen arteko kontrastea egin ahal izateko.

Lanaren jardura, ikerkuntza-eraikuntza binomioan kokatuta egongo da. Prozesu teknologikoaren fase desberdinei jarraituz, hasierako arazoaren planteamendutik abiatzen da, ondoren informazio iturri ezberdinak erabiliz ikerkuntza lana burutu. Jarraian, balizko irtenbide guztiak aztertu ondoren, bat hautatu eta honen diseinua egin. Bukatzeko prototipoa eraiki eta honen ebaluazioa eginez ondorioak atera.

1.2.2. E-BETEZ - BURUTEK

e-Betez

Open Source eta elektronika etikoa printzipioen arabera, energia berriztagarriak erabiltzen dituzten dispositibo elektronikoen diseinu, eraikuntza eta zabalkunderako Unibertsitate Kanpusen arteko ekimena da e-Betez egitasmoa.

Proiektua hau, energia berriztagarriak sustatzea helburu duen ekimen baten bigarren fase bezala ulertzen da. Honetarako, elektronika etikoa eta ezagutza irekia gakoaren baitan lan egiten duten ikasle eta irakaslez osatutako taldeak bultzatzen ditu, eta, printzipio hauen arabera sortutako dispositibo elektronikoen diseinu, inplementazio, dokumentazio eta difusioa egiten du. Ekimen honen barruan sortutako jakintza guztia eta garatutako prototipoak era irekian emango zaie zabalkundera.

Lana, EHUko Ingeniaritza Teknikoko eskolako ikasleen gradu amaierako lanen bitartez eramango da aurrera, diziplinarteko taldetan lan eginez. Talde hauetan, ikasle eta irakasleaz gain BURUTEK elkarteak, Euskal Herriko Mugarik Gabeko Ingeniaritza Gobernu Kanpoko Elkarteak, eta Bilboko IITU eskolako FreeJaus kolektiboko pertsonak parte hartu dute

Sortutako jakintza libre izateaz gain, errepikagarria, eta bere testuinguruan egokia izan dadin lan egiten du ekimen honek, era honetan Unibertsitatearen funtzioekin bat eginez: formakuntza, ikerketa eta giza garapena. Halaber, planteatutako metodologiaren bitartez, emaitzak lau dimentsiotan lortu nahi du: garapen teknologikoa, ekintzaitza taldeka, jakintza irekia, eta sentsibilizazioa eta eragintza lana.

Egitasmo honen lehen fasean, 2013-2014 ikasturtean burututakoa, energia berriztagarriekin erlazionatutako egoera eta arazoei irtenbideak emateko dinamikak planteatu ziren. Espazio honetan, komunikazio horizontaleko prozesuak koordinatu ziren, inplikaturako subjektuak konektatuz: ikasleak, irakasleak, enpresak, gizarteak.....

Lehen fase horretan, Dispositibo elektronikoak kargatzeko eguzki energian oinarritutako sistema garatu zen, eta bigarren fase honetan haizearen energia erabiltzen duten sistemak garatu nahi dira.

Open Source- burutek

BURUTEK – “Burujaetza teknologikoaren garapenerako elkarteak” sortutako proiektua munduan zehar dagoen “Open Source Ecology” komunitatean parte hartzeko. Bere helburu nagusia teknologia modu irekian garatzea delarik.

Teknologia beste burujaetza guztien oinarri bezala ikusten da proiektu honen barruan. Energia sortzeko, elikagaiak ekoizteko, osasun sistema bat garatzeko, komunikazio sare bat osatzeko... eta beste behar guzietarako teknologia beharrezkoa dela argi ikusten delako.

Teknologia horiek, gaur egun, korporazio handien menpe daude, modu “itxia” edo pribatuan, ezagutzen den eredu ekonomiko honetan abantailak eskaintzen duelako. Baina, honen ondorioz, gizarte osoa enpresa transnazional hauen menpe geratzen da.

Egoera hau aldatzeko, ezagutza hori garatzea eta gizarteratzea beharrezkoa ikusten du talde honek. Nahiz eta bide luzea izan, egunen batean ibiltzen hasi behar den bidea da. Hori da BURUTEK elkartearen erronka.

Munduan zehar sakabanatuta dagoen Open Source Ekology komunitateak antzeko ideiak garatuz, aurretik urte batzuk daramatza. Beraien erronkak “munduko edozein tokian zibilizazioa garatzeko behar diren 50 makina industrialak modu irekian garatzea” du helburu. Beraien hizkuntza ingelesa eta beraien neurriak eta merkatua amerikarra direlarik.

BURUTEK elkarteak, Open Source Ekology komunitatean parte hartuko du, globala eta lokalaren arteko zubia izan nahi duelako. Atzerrian garatzen den dokumentazioa hemengo

beharretara egokitzeko, eta hemen garatzen dena munduan zabaltzeko.

1.2.3. Helburu espezifikoak

Beste helburu espezifiko batzuk ere baditu lan honek:

- ▷ Energia erdua eta energia elektrikoaren ekoizpenaren inguruko ikerketa lana egitea, potentzia baxuko sistemetan zentratuz batez ere (mikroelikoa).
- ▷ Open Source filosofiaren barruan lan egitea: ezagutza irekia elkarkidetzan.
- ▷ Sorgailu elektrikoaren eraikuntza ikertu, dauden aukera ezberdinak aztertuz.
- ▷ Une honetan aerosorgailuen eraikuntza DIY filosofiaren barruan dauden aukerak aztertu, teknologia maila baxuko irtenbideei erreparatuz.
- ▷ Energia berriztagarrien aldeko kontzientziazio eta sentsibilizazio lana egitea, energia elektrikoaren sortzea teknologikoki sinplea izatearen ideia zabalduz eta elektrizitatea sortzea guztion eskura egon daitekeela, eskala txikiko auto-produkzioaren ideia zabalduz.
- ▷ Proiektuari izaera pedagogiko (didaktikoa) ematea, geletan energia eolikoaren ikasketetan erabili ahal izateko.

1.3. LANAREN IRISMENA

Lan honetan Iman iraunkorreko alternadore baten diseinua, kalkuluak eta eraikuntza prozesua burutuko dira, ardatz bertikaleko Savonius motako sorgailu eoliko baten parte izateko asmoz. Aldez aurretik definitutako parametro batzuen arabera, ondoren azalduko ditugun moduan.

Errotorean kitzikapen harilkatua duten makinekin konparatuz, iman iraunkorreko makinen abantaila bat, bere pisua eta bolumena txikiagoan datza. Iman iraunkorreko makinek eraginkortasun handia lortzen dute, tamaina txikikoak izanda ere. Honek ahalbideratzen du era honetako fluxu axialeko iman iraunkorreko sorgailuen erabiltzea turbina elektrikoaren bidezko energia elektrikoaren sorkuntzan. Beste alde batetik, era honetako sorgailuen eraikuntza prozesua nahiko sinplea izaten da, oso aproposa DIY filosofiaren barruan lan egiteko.

Lan honetan ez dira jorratuko indar-pareen kalkulu edo analisi mekanikorik. Zati hori, e-Betez eoliko taldeko beste partaide batzuk egingo dute. Sorgailuaren erregulazio sistema ere ez da ikertuko lan honetan.

Iman iraunkorren eraikuntzen teknologian eman den aurrerapena ere kontuan hartuz, lur arraroen imanek dituzten ezaugarriak erabiliz, alternadoreen eraginkortasuna asko handitzen da. Baina lur arraroak erabiltzen dituzten imanen erabilerak, Neodimiozkoak kasu, badu bere alde iluna. Iman hauek egiteko *lur arraroak* deitutakoak erabiltzen dira. Mineral hauen ustiapena ez da batere erraza eta bere produkzioak arazoak sortzen ditu: batetik bere ustiapena munduan leku gutxitan egiten dela eta oso prozesu konplexua izaten da eta bestetik, oso kantitate txikitik ematen direla planetan, haize-sorgailu erraldoiak egiteko dagoen eskakizun maila ikusita. Guzti honek askotan arazo ekologiko larriak dakartza. Beraz honek iman berezi hauen erabilera zentzuz egitera eraman behar gaitu.

Ikerketa lanaren ondorioz eraikiko den sorgailua, prototipo funtzional bat izango da, ez da bukaerako produktu bat edo produktu komertzial bat eraikiko.

1.4. AZALPEN OROKORRA

Proiektu honek fase desberdinak ditu:

- ▷ Energia eolikoaren inguruko ikerketa burutu: hasieran haizearen propietateak zeintzuk diren aztertu eta haizearen potentziala kalkulatzeko formulak zehaztu dira. Ondoren, proiektuaren kokapenaren arabera haize baldintzak aztertu dira, honetarako dauden datu meteorologikoak baloratu dira eta haizearen potentzialaren aurreikuspen bat egin da, bere konexio abiadura eta abiadura nominala zehaztuz.
- ▷ Turbinaren dimentsioen aurreikuspena: beharrezko potentzia elektrikoaren arabera, eta haizeak daraman energia jakinda, Savonius turbinaren dimentsioen aurreikuspen bat egin da.
- ▷ Dispositibo elektronikoen txikiak kargatzeko sistemek dituzten beharrak aztertu dira, eta sistemaren potentzia baterako diseinatu da.
- ▷ Sorgailu elektrikoaren inguruko ikerketa egin da ondoren, energia elektrikoa sortzeko dauden aukera ezberdinak aztertu dira. Azkenik, hartutako irtenbidea iman iraunkorreko sorgailua egitea izan da, eta honen justifikazioa azaldu da.
- ▷ Iman iraunkorreko sorgailuen osagai elektriko eta magnetikoak aztertu dira, eta ondoren, parametro guztien kalkuluak egin: abiadura nominala, polo kopurua, maiztasuna, harila kopurua eta dimentsioak, iman kopurua eta dimentsioak, hari eroalea, tentsio eta intentsitate kalkuluak.
- ▷ Jarraian, pieza ezberdinak diseinatu eta eraiki egin dira, kalkuluetan lortutako dimentsioen arabera.
- ▷ Bukatzeko, prototipoaren eraikuntza eta muntaia egin da. Prototipoa eraikita, zenbait doiketa egin ondoren, laborategiko saiakuntzak eta kalkulu teorikoekin

konparaketa egin da.

- ▷ Bukatzeko, aurrera eramandako prozesu guzti honen ondorioak eta aurrera begirako lan ildoak landu dira.

1.5. AURREKARIAK

1.5.1. EGUNGO ENERGIA EREDUA

Gaur egun mundu mailako herrialde industrializatuetan, eta garapen prozesuan dauden besteetan ere, daukagun garapen maila mantendu ahal izateko energia kantitate ikaragarriak behar ditugu. Energia kantitate hori ekoiztu eta banatu ahal izateko eredu energetiko zehatz bat ezarrita dago herrialde hauetan, eta eredu honek ondorio batzuk dakartza. Aitor Urresti Irakasleak, Euskal Natura Blogean, ondo azaltzen du zein den gaur egungo egoera energiaren gaiaren inguruan, ondoren analisi horren pasarte batzuk azaltzen dira:

Gure gizarteak, erronka larria du bere aurrean: baliabideen urritasunari eman beharreko erantzuna, eta zehazkiago, baliabide energetikoen urritasunari. Gure gizarteak menpekotasun itzela du agortzear dauden erregai fosilekiko. Baina horien urritasuna nahikoa ez balitz, erregai fosilen kontsumoak eragiten duen klima aldaketa batzen zaio erronkari. Izan ere, herrialde garatuetako eredu energetikoak erronka larriak ditu, epe laburrean konpondu behar direnak; aldez aurretik aipatutako urritasuna eta klima aldaketaz gain, konpondu beharreko arloak dira atzerriarekiko menpekotasuna, energiaren prezioa, baliabide energetikoen banaketa, edo oligopolioak eta gizartearen kontrol eza.

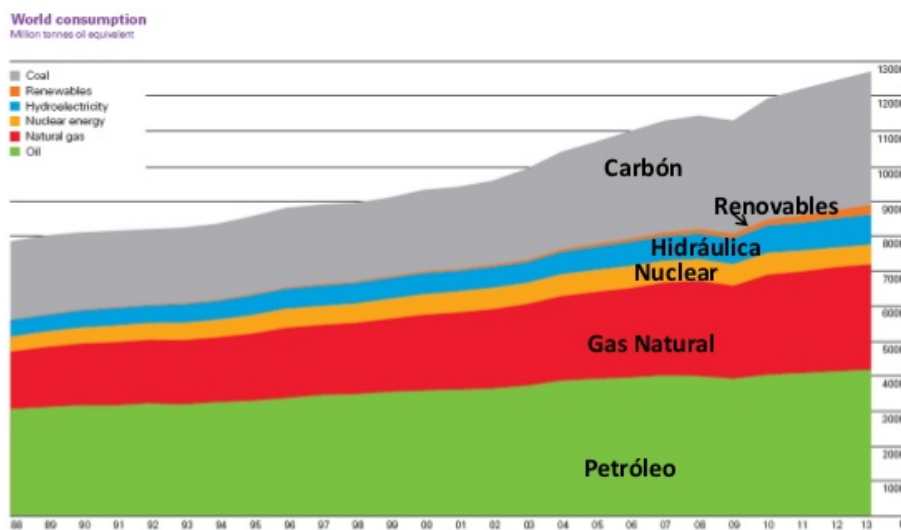
Mundu-mailan kontsumitzen den energiaren %85a erregai fosiletatik dator 1.3 irudian ikus daitekeenez: petrolioa, gas naturala eta ikatza, energiaren sorreran oinarri dira mundu osoan. Herrialde garatuetan erregai fosilen pisua pixka bat txikiagoa da, energia osoaren hiru laurden izateraino, energia nuklearra eta berriztagarrien ekarpena nabariagoa baita.

Argi dago epe labur batean erregai fosilekiko alternatiba iraunkor bat aurkitu beharra dagoela. Energia nuklearra ezin da izan alternatiba hori, nahiz eta hainbatek proposatzen duen, une honetan frogatutako erreserbek 90 urte iraungo bailukete soilik.

Gure klima aldatzen ari da eta planetako tenperatura gora doa modu azkarrean. Klima-aldaketaren eragile nagusia, negutegi-efektuko gasak dira: CO₂, ur-baporea, metanoa, NO_x edo CFC-ak. Horien gehiengoa gizakiaren eraginez sortzen da, atmosferan duten kontzentrazioa handituz, eta gero eta

Consumo mundial de energía primaria

En 30 años el consumo mundial de energía se ha duplicado



BP Statistical Review of World Energy, Junio 2014 bp.com/statisticalreview

Irudia 1.3.: Mundu mailako energia kontsumoa iturrien arabera.

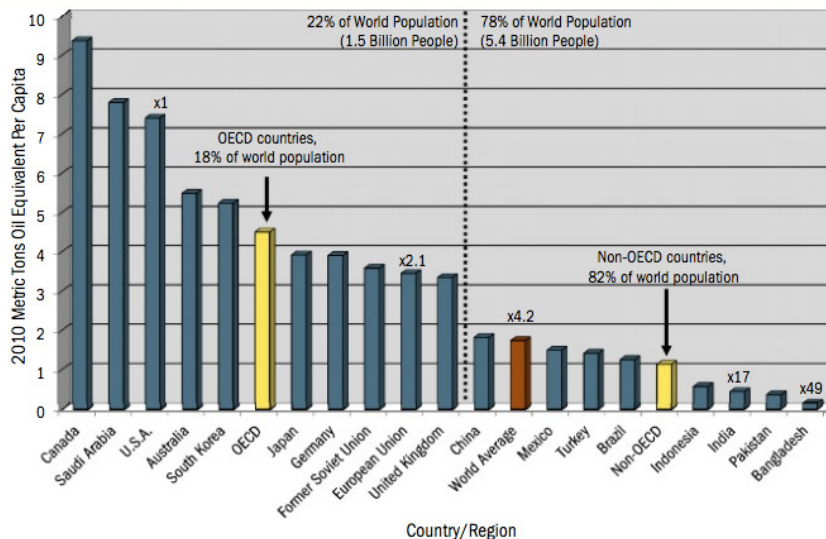
bero kantitate handiagoa xurgatuz. Modu horretan, atmosferako tenperatura etengabe handitzen doa eta ezezaguna den klima baterantz hurbilduz goaz. Horren efektuak dagoeneko sumatzen hasiak gara.

Energiaren ekoizpenak eta erabilerak negutegi-efektuko isurpenen erdia suposatzen du, eta beroketan eragin handiena duen sektorea da. Erregai fosilen erreketak CO₂ eta NO_x kantitate izugarriak isurtzen ditu atmosferara. Premiazkoa da beraz, klima aldaketari aurre egiteko, energia kontsumitzen den era aldatzea, bai kontsumo-maila aldatuz, bai baliabide energetikoak aldatuz; erregai fosilak alde batera utziz, garbiak diren energia berriztagarrien alde egiteko.

Baina egungo eredu energetikoak baditu beste hainbat erronka bere etorkizun hurbilean. Hasteko, erabiltzen diren baliabide gehienak, herrialde gutxi batzuen eskuetan daude.

Bestalde, azken urteetan energiaren prezioak gorakada nabarmena jasan du. Krisialdi finantzieroaren atzetik, krisialdi energetiko bat gertatu da, non petrolioaren prezioak maximoak jo dituen, produktu guztien ekoizpena garestituz.

Baliabide energetikoen kontsumoa modu oso desberdinean bananduta dago mundu-mailan. Argi dago herrialde garatuetatik egiten den gailakontsumoak herrialde azpigaratuetako hazkundera oztopatzen duela, baliabide energetikoak



Irudia 1.4.: Mundu mailako petrolio kontsumoa herrialdeka

urriak baitira 1.4. irudian ikus daitekeenez.

Azkenik, gogoratu behar da baliabide energetikoak enpresa gutxi batzuen eskutan daudela. Mundu-mailan petrolio eta gas naturala hamarren bat enpresek kontrolatzen dute, eta estatuko sistema energetiko osoa bost enpresen eskutan dago.

Gure gizartearen eredu energetikoak dituen erronkak ikusita, hainbat gobernuk eta enpresek ostrukaren estrategia jarraitzea erabaki dute: epe laburreko urritasunari ez ikusia egin, eredu energetikoak sortzen dituen arazo guztiak ahaztu, eta erregai fosilen erabilera ahalik eta gehien zuzutzea.

Gobernuek, erregai fosiletan oinarritutako eredu energetikoa are gehiago zukutu nahian, fracking-a bezalako teknika kutsakor eta arriskutsura jo dute; leku gehienetan bertako biztanleriaren nahien kontra.

Gaur egun, erabiltzen den eredu energetikoak arazo larriak sortzen ditu gure ingurunean eta gizartean, aldeztu aipatu bezala. Zorionez, esan beharra dago badagoela beste aukerarik; beste eredu energetiko baterantz egiteko moduan gaude. Teknikoki behar ditugun tresna gehienak prest daude, eta une honetan eredu aldaketan hasteko moduan gaude.

Eredu energetiko berriak hainbat ezaugarri eduki beharko lituzke gaur eguneko erronkak gainditzeko. Hasteko, kontsumo energetikoa murriztu beharra dago, guztiz jasanezina baita. Energia aurreztu beharra dago, eta efizientzia energetikoa sustatu. Modu horretan, klima-aldaketa motelduko litzateke, ohiko baliabideen biziraupena luzatu, eta herrialde azpigaratuek baliabide gehiago izango lituzkete eskuragarri. Horretaz gain, baliabide energetikoen prezioa beheraka joango litzateke, beren eskaria murrizten den

einean.

Bestalde, erabiltzen ditugun energia-iturriak aldatu beharra dago. Energia berriztagarriak eskuragarri daude mundu osoan zehar, garbiak dira, eta autonomoak. Horiek ustiatzeko teknologiak garatuta daude eta, gainera, prezio lehiakorrean sortu dezakete energia gaur egun. Heldu da garaia iturri energetikoen trantsizio bat abian jartzeko, eta energia berriztagarrien aldeko apustu sendoa egiteko. Horrela atzerriarekiko menpekotasuna murriztuko litzateke, eta klima aldaketa modu nabarmenean moteldu.

Dena den, eredu energetikoaren egitura bera ere aldatu beharko litzateke. Egun energiaren sorrera gehiena enpresa pribatu gutxi batzuen menpean dago mundu guztian zehar. Baliabide energetikoak modu horretan kontrolatzeak, demokrazia falta itzela suposatzen du, lehen aipatu bezala, enpresa horiek gobernuen politika energetikoa ezartzen baitute. Orain arte erabilitako baliabide energetikoak (erregai fosilak, energia nuklearra) ustiatzeko, planta energetiko handiak behar dira, inbertsio altuak beharrezkoak baitira. Aldiz, energia berriztagarriak eskala txikitan ere ekoitz daitezke. Horri esker, edonork ekoitz lezake kontsumitzen duen energia eta kontsumitzaile bakoitza ekoizle bihurtu daiteke. Energia berriztagarrietan oinarritutako eredu energetiko batek herritargoari boterea emango lioke politika energetikoan.

Hurrengo hamarkadetan, gure gizarteak eredu energetiko berri baterantzko bidea egin beharko du; energia aurrezteko sistemak garatuz, efizientzia energetikoa landuz, eta herritarren eskuetan dauden energia berriztagarrietan oinarritutako dena. Bide horretan potentzia txikiko energia eolikoaren erabilerak paper garrantzitsua joko dezake.

1.6. ARTEAREN EGOERA (STATE OF THE ART)

Atal honetan, gaur egun elektrizitatea sortzeko potentzia txikiko sorgailuen errealitatea zelan dagoen aztertuko da. Horretarako hiru eremutan hartutako adibideak jarriko dira ondoren: dispositibo txikien pila-kargagailu eolikoak, potentzia txikiko haize sorgailuak (ardatz horizontala zein bertikalekoak), eta iman iraunkorreko fluxu axialeko sorgailu elektrikoak.

1.6.1. Kargagailuak eta mikroelika komertziala

K/3 Charger

<http://inhabitat.com/k3-charger-solar-and-wind-power-to-go>

Tentsio nominala (DCV): 5,6V

Hegalen diametroa: 60mm



Small wind Turbine Generator

<http://pacificskypower.com/products/small-wind-turbine/>

Potentzia maximoak: 15 watts

Tentsio nominala (DCV): 12 volt DC

Abiarazteko abiadura:

Kargatzen hasteko abiadura: 500 to 2000 rpm

Potentzia nominalerako abiadura:

Gehienezko abiadura: 40 mph

Hegalen diametroa: 15"

Hegal kopurua: 2

Hegalen materiala: GWS plastic



Mini Micro Small Aerogailua

http://www.ebay.es/itm/Generador-De-Viento-Mini-Micro-Small-Aerog5enerator-Pequena-Turbina-Viento-/181301898577?_trksid=p2054897

Potentzia maximoak: 8 Watt
Tentsio nominala (DCV): 20 Volta (12 V - 20 km/h)
Abiarazteko abiadura:
Kargatzen hasteko abiadura:
Potentzia nominalerako abiadura: 100 km/h
Gehienezko abiadura:
Hegalen diametroa: 32 cm
Hegal kopurua: 3



Hymini

<http://hymini.com/>

Potentzia maximoak:
Tentsio nominala (DCV):
Abiarazteko abiadura:
Kargatzen hasteko abiadura:
Potentzia nominalerako abiadura:
Gehienezko abiadura:
Hegalen diametroa:
Hegal kopurua:



1.6.2. Ardatz bertikaleko turbinak

Vertcal Axis Wind Turbine - R&X

www.rxtch-power.com

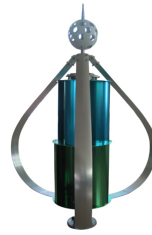
Potentzia maximoak: 300 W
Tentsio nominala (DCV): 12/24 V
Abiarazteko abiadura: 1.3 m/s
Kargatzen hasteko abiadura:
Potentzia nominalerako abiadura: 10 m/s
Gehienezko abiadura: 45 m/s
Hegalen diametroa: 0.8m
Hegal kopurua: 5



Vertical Axis Wind Turbine - R&X

www.rxtech-power.com

Potentzia maximoak: 300 W
Tentsio nominala (DCV): 12/24 V
Abiarazteko abiadura: 2 m/s
Kargatzen hasteko abiadura: 3 (m/s)
Potentzia nominalerako abiadura: 12 m/s
Gehienezko abiadura: 40 m/s
Hegalen diametroa:
Hegal kopurua: 6



TYPAMAR AEROSORGAILUA

<http://typmar.com/en/list.php?cat=1>

Potentzia maximoak: 300W
Tentsio nominala (DCV): 12/24 V
Abiarazteko abiadura: 1 m/s
Kargatzen hasteko abiadura: 2,7 m/s
Potentzia nominalerako abiadura: 15 m/s
Gehienezko abiadura:
Hegalen diametroa: 1230 / 1090
Hegal kopurua: 3
Hegalen materiala: Aluminiozko aleazioa



HoYi - UGE

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

Potentzia maximoak: 200 W
Tentsio nominala (DCV): 12/24V
Abiarazteko abiadura: 2.5 m/s
Kargatzen hasteko abiadura:
Potentzia nominalerako abiadura: 12 m/s
Gehienezko abiadura: 50 m/s
Hegalen diametroa: 0.8 m
Hegal kopurua: 3



Aeolos-V 300W - Aeolo

<http://www.windturbinestar.com/Aerogenerator-300w.html>

Potentzia maximoak: 300 W
Tentsio nominala (DCV): 24
Abiarazteko abiadura: 1.5 m/s
Kargatzen hasteko abiadura:
Potentzia nominalerako abiadura: 10 m/s
Gehienezko abiadura: 50 m/s
Hegalen diametroa: 1,2 m
Hegal kopurua: 3



Aeolos-V 300W - Aeolo

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

Potentzia maximoak: 4500W
Tentsio nominala (DCV): 110, 240Vac
Abiarazteko abiadura:
Kargatzen hasteko abiadura:
Potentzia nominalerako abiadura: 5 m/s
Gehienezko abiadura:
Hegalen diametroa: 1,21m
Hegal kopurua: 3



1.6.3. Ardatz horizontaleko turbinak

BEE 800 - Bornay

<http://www.bornay.com/es/productos/aerogeneradores/aerogenerador-bee-800>

Potentzia maximoak: 800W
Tentsio nominala (DCV): 12/ 24/ 48 V
Abiarazteko abiadura:
Kargatzen hasteko abiadura: 3,5 m/s
Potentzia nominalerako abiadura: 12 m/s
Gehienezko abiadura: 60m/s
Hegalen diametroa: 1,75m
Hegal kopurua: 5



BORNAY 600 - Bornay

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

Potentzia maximoak: 600W
Tentsio nominala (DCV): 12/24/48 V
Abiarazteko abiadura:
Kargatzen hasteko abiadura: 3,5 m/s
Potentzia nominalerako abiadura: 11 m/s
Gehienezko abiadura: 60m/s
Hegalen diametroa: 2m
Hegal kopurua: 2



RCR Energy WP414 max 600

<http://rcr-energy.com/es/aerogeneradores/298-aerogenerador-rcr-energy-wp414-max-600-w-1224-vdc.html>

Potentzia maximoak: 600W
Tentsio nominala (DCV): 12/ 24 V
Abiarazteko abiadura: 2,5 m/s
Kargatzen hasteko abiadura: 3,5 m/s
Potentzia nominalerako abiadura: 12 m/s
Gehienezko abiadura: 60m/s
Hegalen diametroa: 1,185m
Hegal kopurua: 3



FD 300 - Tanfon

<http://tanfon.com/3-1-1-tanfon-grid-wind-power-supply.html>

Potentzia maximoak: 300W
Tentsio nominala (DCV): 12/24V
Abiarazteko abiadura: 2 m/s
Kargatzen hasteko abiadura: 3 m/s
Potentzia nominalerako abiadura: 12m/s
Gehienezko abiadura: 40m/s
Hegalen diametroa: 1,14m
Hegal kopurua: 5
Hegalen materiala: Extra-strong and tenacious engineering plastics



50W 24V mini portable wind power

<http://es.aliexpress.com/item/50W-54V-mini-portable-wind-power-system/833314042.html?isOrigTitle=true>

Potentzia maximoak: 50W
Tentsio Nominala (DCV): 12/24V
Abiarazteko abiadura: 1m/s
Gehienezko abiadura: 45 m/s
Diametroa: 0,99m Hegal kopurua: 6
Hegalen materiala: PRFV
Diseinuaren bizi iraupena: 15-20



LIAM F1 UWT - Archimede

<http://dearchimedes.com/liam/>

Potentzia maximoak: 1,50 kW
 Rated power at 10 ms:1510 W
 Rated power at 12 ms:1880 W
 Tentsio nominala (DCV): 0 - 450 V
 Abiarazteko abiadura:
 Kargatzen hasteko abiadura: 2,5 m/s
 Potentzia nominalerako abiadura: 15 m/s
 Gehienezko abiadura: 35 ms-1
 Hegalen diametroa: 1,50 Hegal kopurua:
 Maximum RPM at 35 m/s: 400rpm



1.6.4. Alternadoreak

Alternador (PMA) 800 Watios

http://www.caspe-solar.com/Alternador_CC_Imanes_Permanente_Special_Low_torque_easy_start/p725294_11731709.aspx

Potentzia maximoak: 800 Watt (2500 rpm)
 Tentsio nominala (DCV): 12/24V
 Errotorea: Neodimiozko iman iraunkorrek
 Fase kopurua: 3



M31 - Permanent Magnet Alternator.

<http://www.lmagency.biz/contents/en-uk/p56.html>

Potentzia maximoak: 965W
 Tentsio nominala (DCV): 0-28V AC
 Polo kopurua: 4
 Fase kopurua: 3
 Errotorea: neodimiozko imanak
 Gehienezko Korronea: 35 A
 Potentzia nominalerako abiadura: 420 rpm
 Eraginkortasuna: > %95



AFPMG380-0.5kW - QM MAGNET

<http://www.qm-magnet.com/index.html>

Potentzia nominala : 500 W
 Tentsio nominala : 28 VDC
 Fase kopurua: 3
 Errotorea: Neodimiozko imanak
 Korronea nominala: 17,8 A
 Potentzia nominalerako abiadura: 100rpm
 Efficiency: > 85%
 Harilkatuen konexioa: izarra



NE-300S - NAIER

http://es.aliexpress.com/store/product/300ws-12v-24v-ac-permanent-magnet/910692_765968636.html?isOrig=true#extend

Potentzia nominala : 300 W
 Tentsio nominala : 12/24 VDC
 Fase kopurua: 3
 Errotorea: Neodimiozko imanak
 Korronea nominala:
 Potentzia nominalerako abiadura: 450rpm



1.7. MARKO TEORIKOA

1.7.1. HAIZEA ETA BERE EZAUGARRIAK

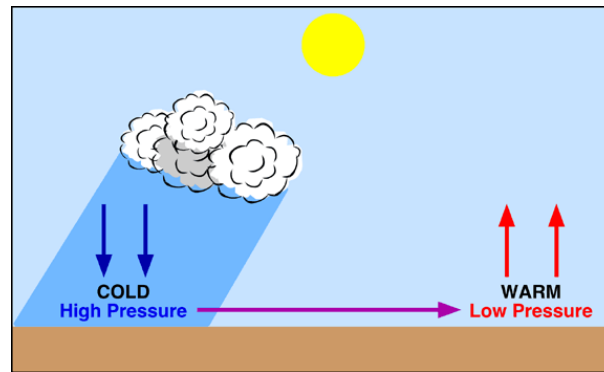
Zer da Haizea?

Atmosferan toki batetik bestera mugitzen ari den aire-masa da haizea. Atmosferako troposfera geruzan sortzen da, gainerako fenomeno meteorologiko guztiak sortzen diren eremuan, eta hor gertatzen diren presio aldaketei erantzunez sortzen da. Hain zuzen ere, presio baxuko eta altuko eremuen artean oreka lortzeko mugitzen da airea batetik bestera.

Nola sortzen da?

Eguzkiak airea berotzen duenean, aireak igotzeko joera du. Horren eraginez, atmosferako gune horrek lurtean eragiten duen presioa jaitsi egiten da. Inguruko presioa altuagoa denez, bi eremuen arteko presio-ezberdintasunak orekatzeko, airea mugitu egiten da presio altuetatik baxuena duen eremura, hots, haizea sortzen da.

Eta planetako lur azala irregularra denez, eguzkiak ez ditu era berean berotzen lurreko zati guztiak, eta honen ondorioz tenperatura ezberdinez berotzen ditu haize-masa ezberdinak,



Irudia 1.5.: Eguzkiak sortutako presioen aldakuntza

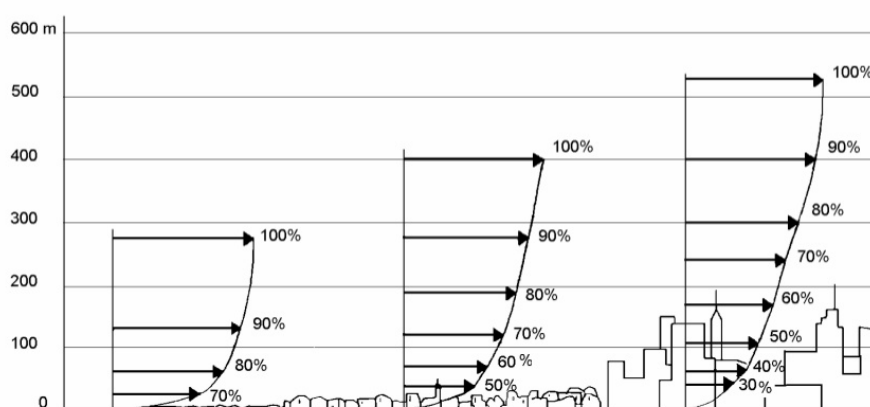
presio egoera ezberdinak sortuz eta “sistema” desorekatuz. Lur-azala guztiz erregularra balitz, uniformea (mendi, ibai, itsaso edo bestelako elementu orografikorik gabekoa), eta eguzkiak tenperatura berdinez berotuko balu lur azal osoa, haizerik gabeko egoera batean egongo ginateke.

Haizeen zirkulazio orokorrarekin batera, maila txikiagoko fenomeno ugari gertatzen dira, depresioak, zikloi tropikalak eta tornadoak, besteak beste. Ekaitz horietako bakoitza haize-sistema nagusien noranzkoan mugitzen da, baina bere baitan haize-zirkulazio propioa izan ohi du.

Gune geografiko batzuetan, kondizio zehatzak gertatzen direnean sortzen da haizea. Kostaldeko brisa da kasu horietako bat. Lurrak urak baino azkarrago jasotzen eta askatzen du beroa, eta, horren ondorioz, itsasoak eta lurrak bat egiten duten tokian, uraren eta lurraren arteko bero-trukea gertatzen da. Egunean zehar, Eguzkiak lurra eta itsasoa berotu egiten ditu, eta, lurra azkarrago berotzen denez, horren gainean dagoen airea ere azkarrago berotzen da eta arratsalderako igotzen hasten da. Igoera hori orekatzeko, itsasotik aire hotza lurraren barnerantz sartzen da. Itsasoko brisa da hori. Gauean, aldiz, lurra azkar hozten da, eta, itsasoak egunean zehar pilatu duen beroa polikiago askatzen duenez, alderantzizko fenomenoak gertatzen da, hau da, lurretik itsasora mugitzen da airea; lurreko brisa da hori.

Lurrazalaren orografiak ere, eragina dauka airearen mugimenduan. Lurreko egituren altuerak eragiten du airearen tenperatura-aldaketa eta mugimenduan. Era honetan, grafiko batean haizearen abiadura eta lur azaletik altuera irudikatzen bada, funtzio matematiko baten bitartez, profilaren forma lurreko zimurtasunaren arabera izango da. Honela, 1.6. irudian haizearen abiaduraren aldaketa ikusten da lurraren ezaugarri topografikoen arabera.

Haize-energiaren erabilera oso sinplea da. Eguzkiak lurra berotzen du, baina lurrazalaren forma irregularren eraginez, tenperatura desberdineko aire-masak sortzen dira, hots, dentsitate eta presio desberdinekoak. Desberdintasun horiek alde baterako eta besterako korrante horizontalak sortzen dituzte, hots haizea sortzen dute. Eta haize horren abiadurak (energia zinetikoa) higiaraziko ditu bere bidean jarritako errotaren palak.



Irudia 1.6.: Haizearen abiaduraren aldaketa altuera eta orografiaren arabera

Taula 1.1.: Haizearen abiadura Beaufort eskalaren arabera

Beauforten eskala	haizearen izena	abiadura (korapilotan)	behatutako efektua
0	(haize) barea	< 2	kea zuzen igotzen da
1	haize oso ahula	3-5	haizeak kea okertu egiten du
2	haize ahula	6-8	haizea aurpegian nabaritzen da
3	haize arina	9-12	haizeak hostoak mugiarazten ditu
4	haize alaia	13-16	haizeak hautsa eta paperak atxarazten ditu
5	haize hozkirria	17-21	haizeak aintziretan olatuak sorrarazten ditu
6	haize gogorra	22-26	haizeak zuhaitzetako adarrak kulunkatzen ditu
7	haize oso gogorra	27-31	haizeak oinezkoari ibiltzea oztopatzen dio
8	haizetea	32-37	haizeak adar txikiak hausten ditu
9	haizete gogorra	38-43	haizeak tximinia eta teilak erazten ditu
10	ekaitza	44-50	haizeak kalte larriak eragiten ditu
11	ekaitz gogorra	51-57	haizeak eremu zabala suntsitzen du
12	urakana	> 58	hondamen katastrofikoak

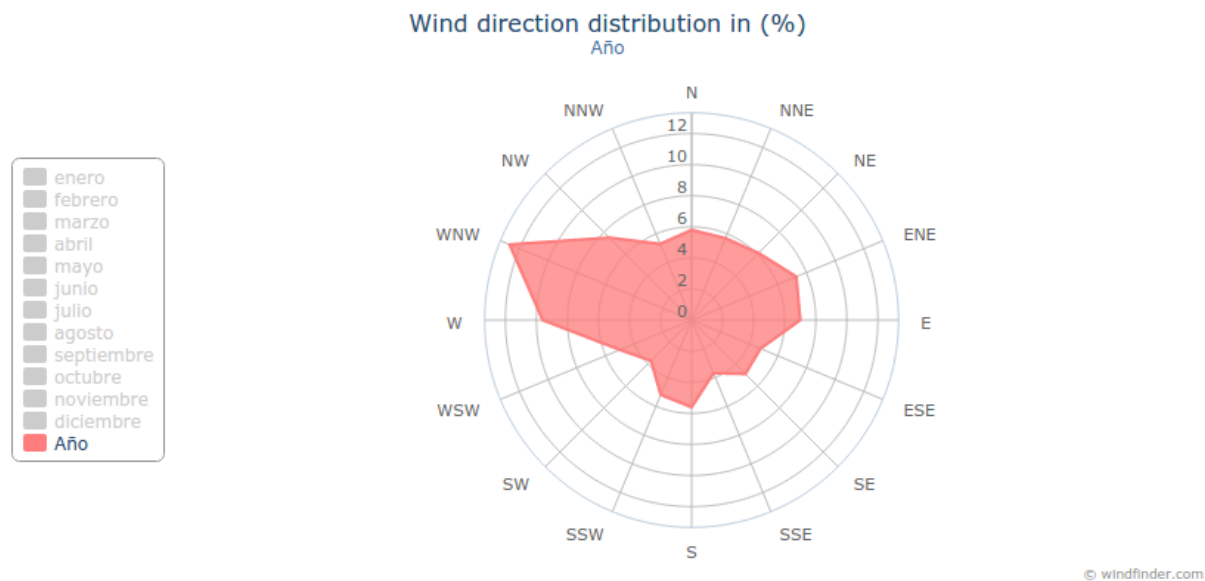
Zeintzuk dira haizearen ezaugarriak?

Haizearen ezaugarri nagusiak norabidea eta abiadura dira, eta ondo aztertu behar dira hauen aldakuntzak egunean zehar eta baita urtean zehar urtaro edo egoera klimatikoaren arabera.

Haizeen norabidea, haizea datorren puntu kardinalaren bidez adierazten da (adibidez, ipar-haizea iparretik jotzen duena da).

Haizearen abiadura, faktore askoren mendekoa da, horietatik nagusia, atmosferako aldeetako presio-diferentzia bera da. Abiadura eskala bateko mailen arabera adierazi ohi da; erabiliena Beaufort eskala da 1.1 taulan.

Abiadura metro segundoko (m/s) , kilometro orduko (km/h) edo, zenbait jardueratan, korapilotan neurtzen da. Haizearen abiaduran eragina duen beste faktore bat erliebea da. Bada, lurraren azalarekiko marruskadurak airearen abiadura txikiagotzen du. Gertakari horri zizailadura deritzo, eta, horren ondorioz, altueraren arabera abiadura-kurba osa daiteke. Erliebea zenbat eta gorabeheratsuagoa izan, zizailadura handiagoa da. Itsasoan, berriz,



Irudia 1.7.: Bilboko haizearen norabideen distribuzioa, *haizeen arrosa*

zizailadura txikiagoa da, eta, barnealdekoarekin konparatuta, abiadura gutxi aldatzen da altuerarekin (Ikus 1.6. irudia)

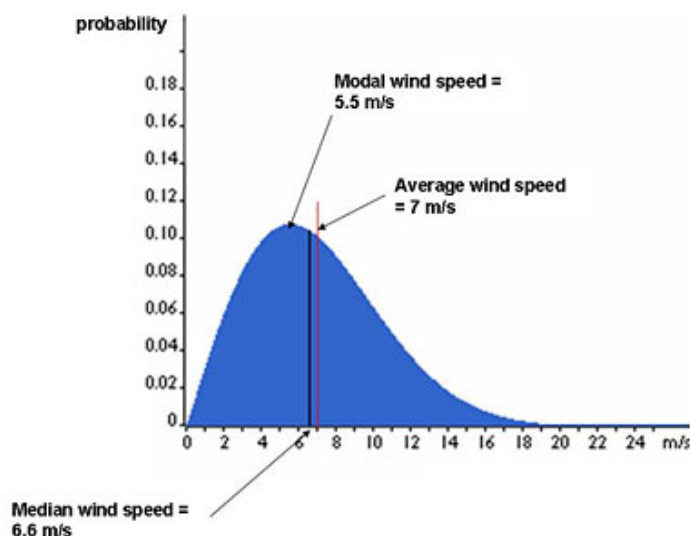
Energia eolikoaren erabilerak onura handiak izan arren, badu desabantaila nagusia, haizearen abiaduraren egonkortasuna hain zuzen ere. Haizeak dispertsio eta ausazkoa beraz, ezin aurreikusi zein izango den batez besteko abiadura ez da zein momentutan ere. Honen ondorioz, ezin da zehaztu sistemak sor dezakeen energia kopurua denboran.

Haizearen abiadura magnitude bektoriala da eta hau alda daiteke bai moduloz baita norantzaz edo norabideaz. Batez besteko baloreak 3 eta 7 m/s baloreen artean kokatzen dira, baino kokapen edo orografiaren arabera hauek oso aldakorra izan daitezke.

Toki bateko haizearen bilakaera aztertzeko haizearen arrosa erabiltzen da. Izar-formako diagrama bat da, leku bateko haize-norabide bakoitzaren maiztasun erlatiboa eta batez besteko abiadura irudikatzen du. Honen ondorioz aldi baterako haizearen energia-edukia aztertu daiteke zehaztasun gehiagorekin. Diagrama egiteko horizonte zirkularra 8, 10, 12 edo 16 zati berdinetan banatzen da lau puntu kardinalak kontuan hartuz (iparra, hegoa, mendebaldea, ekialdea) eta bertan haizearen jatorri norabidea marrazten da. Era honetan, haizearen norabide nagusia zehaztu daiteke, eta honek gehienetan ez du bat egiten haizearen abiadura intentsitatearekin, hain zuzen ere normalean haize indartsuenak eta hauen norabidea ez direlako urtean zehar gehien jotzen duten haizeen norabide berdina. Bilbo ondoko itsasoan hartutako datuen adibidea ikus dezakegu 1.7. irudian.

Nola neurtzen dira haizearen ezaugarriak?

Haizearen ezaugarriak neurtzeko honen abiadura eta norabidea neurtu beharko ditugu nagusiki. Horretarako anemometroa eta haize-orratza erabiliko ditugu. Gainera neurketa



Irudia 1.8.: Weibull distribuzioa

ezin da une konkretu bakar batean egin, baizik eta aldi baterako maiztasun batekin egin beharko direla. Toki bateko haizearen ezaugarriak jakiteko, eta horrela bere aurreikuspena egin ahal izateko, gutxienez urte bateko datuak jasotzea beharrezkoa izango da, haizearen parametroen aldakortasuna kontuan hartzen bada. Beraz, neurketa gailuak leku jakin batean kokatzen dira eta estimatutako denboran datuak jasotzen dituzte maiztasun baten arabera.

Leku bateko datuak esanguratsuak izateko eta aurreikuspen fidagarriak egokiak egin ahal izateko 5 urtetik gorakoak izan beharko dira. Oso garrantzitsua da energia eolikoaren kasuan, etorkizuneko haizearen bariazioak deskribatu ahal izatea, era honetan optimizatu ahal izango ditugu aerosorgailuen diseinuak.

Toki batean jasotako haizearen datuak aztertzen baditugu, konturatzen gara haizearen ezaugarriak oso aldakorak direla denboran, eta baita ematen diren maiztasunean. Honela, haize erauntsi edo haizerik gabeko egunak eskasak direla eta aldiz haize leuneko egunak askoz ohikoagoak izanik.

Horregatik, beharrezkoa da denboran zehar jasotako datuak era estatistiko batean jorratzea, era honetan toki bateko haizearen aldakuntza Weibull distribuzioaren arabera deskribatzen da normalean.

1.8. irudian ikusten den bezala kokapen horretan haizearen batez besteko abiadura 7m/s-koa da eta kurbaren forma 2 formako parametro baten arabera zehaztuta dagoela esaten da.

Weibull distribuzioa probabilitatearen banaketa bat da, eta aldatzen da oso toki batetik

bestera, tokiko baldintza klimatiko, paisaia, eta azaleraren arabera. Beraz Weibull distribuzioa formaz eta batez besteko balorez alda daiteke.

Formaren parametroa 2-koa bada zehatz mehats, irudian agertzen den bezala, banaketa Rayleigh distribuzio bezala ezaguna da.

Planetan, energia eolikoa komertzialki lurralde askotan ustiatzen bada ere, Danimarka eta Kalifornia (EE.BB.) dira nabarmentzen direnak, energia iturri hau ikertzen eta garatzen. Nolanahi ere, azken urteotan Alemania aurreratu egin zaio Danimarkari. Espainia eta beste Estatu hainbatek, batez ere Europakoak, eta baita India eta Txina ere, azkar-azkar ari dira euren gaitasun eolikoa garatzen. Kontuan izan behar da asko aldatzen dela lurralde batetik bestera haizearen potentziala, haizearen abiaduraren balio minimo desberdinen ondorioz.

Jarraian aipatzen dira, Espainiako, Europako eta munduko beste lurralde batzuetako parke eoliko komertzialak instalatuta dauden zonetako haizearen abiaduraren tarteak. Abiadura errotorearen parean neurtutakoa da.

- ▷ Nafarroa: 6,5-8 m/s
- ▷ Euskadi: 5,5-7,5 m/s
- ▷ Galizia: 6-8 m/s
- ▷ Itsasartea: 7-9 m/s
- ▷ Kanaria k: 7-9 m/s
- ▷ Katalunia: 6-7 m/s
- ▷ Ebro bailara: 6-6,5 m/s
- ▷ Danimarka: 6-6,7 m/s
- ▷ EE.BB.: 7,8-8,2 m/s
- ▷ Australia: 7,7-8,2 m/s
- ▷ Txina: 7,1-8,4 m/s

Jasotako datuen arabera, badirudi Euskal Herria aurreko atalean aipatutako hainbat lurralderen eta herrialderen parean dagoela. Beraz, jatorri eolikoa duen energia proiektu garrantzitsu bati ekiteko moduan dago Euskal Herria, egindako neurketek azaltzen duten legez.

Zein da haizearen potentzia?

Haizearen parametroak ondo zehaztuta (gogoratu horretarako behaketa mantendu behar dela denbora tarte luze batean), eta datu hauen analisi egokia eginez, tokiko potentzial eolikoa zein izango den kalkulatu dezakegu.

Turbina baten bidez haizeak duen energia zinetikotik teorikoki atera daitekeen energia-ehuneko maximoa % 59 dela zehazten duen legea. Turbina zeharkatzen duen

haizeak atzealdetik kanporatu behar du, aurrealdetik haize berria sartuko bada, eta, beraz, ezin zaio energia zinetiko guztia kendu. Lege hau Albert Betz fisikari alemaniarrek eman zuen 1919an. Praktikan, % 30-40 bitarteko errendimenduak lortzen dira.

Haizeak daraman energia, bere partikulek duten energia zinetikoari erreparatu behar diegu.

Energia Zinetikoa gorputz batek abiadurari esker duen energia da; adibidez, haizeak eta ur-lasterrak dutena. Mugitzen den masaren eta abiaduraren arabera da. Zenbat eta masa edo abiadura handiagoa izan, orduan eta handiagoa izango da energia zinetikoa. Hona hemen formula:

$$E_c = 1/2.m.v^2 \quad (1.1)$$

E_c = Mugitzen den partikularen energia zinetikoa (N.m)

m = Mugitzen de airearen masa (Kg)

v = Airearen abiadura (m/s)

Beste alde batetik, airearen masa kalkulatzeko bere bolumenaren arabera egingo da. Horretarako airearen dentsitatea erabiliko da.

$$m = V.\rho \quad (1.2)$$

$$E_c = 1/2.V.\rho.v^2 \quad (1.3)$$

m = Mugitzen de airearen masa (Kg)

V = Aire masaren bolumena (m^3)

ρ = Airearen dentsitatea (Kg/m^3)

E_c = Mugitzen den partikularen energia zinetikoa (N.m)

v = Airearen abiadura (m/s)

Beste alde batetik airearen bolumena honen abiadura eta zeharkatzen duen azaleraren arabera idatzi daiteke.

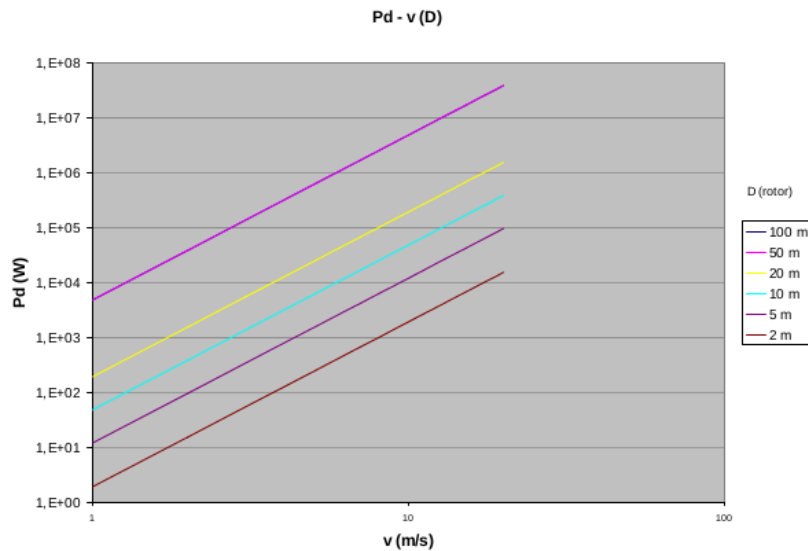
$$V = A.v.t \quad (1.4)$$

V = Aire masaren bolumena (m^3)

A = Haizeak zeharkatzen duen azalera (m^2)

v = Airearen abiadura (m/s)

t = denbora tartea (s)



Irudia 1.9.: Aerosorgailuaren potentzia, helizearen diametroaren arabera.

Aurreko 1.3. adierazpenean ordezkutzen bada.

$$E_c = 1/2 \cdot A \cdot t \cdot \rho \cdot v^3 \quad (1.5)$$

Baino potentzial eolikoarekin lan egiteko, potentzia behar da (E_c/t)

$$P = 1/2 \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 \quad (1.6)$$

E_c = Mugitzen den partikularen energia zinetikoa (N.m)

P = Haize masaren Potentzia (W)

A = Haizeak zeharkatzen duen azalera (m²)

m = Mugitzen de airearen masa (Kg)

t = denbora tarte (s)

ρ = Airearen dentsitatea (Kg/m³), normalean 1,255 Kg/cm³

v = Airearen abiadura (m/s)

Ondoko 1.9. grafikoan ikusten denez, grafikoki adierazten bada haizearen potentzia eskuragarria turbinaren diametroaren arabera airearen dentsitatea $\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$ izanik, honako grafikoa lortuko da.

Grafikoan ikusten denez, turbinaren errotorearen diametroa edo haizearen abiadura handitzen diren heinean, potentzia igo egiten da. Batez ere abiadurarekiko (haizeren abiaduraren kuboarekiko zuzenki proportzionala baita potentzia)

Haize-potentzia horretatik guztitik turbinak bereganatzen duen P_m potentzia mekanikoa, ordea, ez da haizeak daraman potentzia osoa, ezinezkoa baita haizeak daraman energia guztia energia mekaniko erabilgarria bihurtzea, beti ematen direlako galerak.

$$P = 1/2 \cdot C_p \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 \quad (1.7)$$

P = Aire masaren potentzia (W)

C_p = potentzia-koefizientea izanik. Dimentsiorik gabeko zenbaki horrek hau adierazten du: haizeak turbinari eskaintzen dion energia guztiaren zein frakzio (hainbesteko bateko) eskuratzeko gai den turbina. Turbinaren eraginkortasunaren adierazle bat da, hortaz.

A = Haizeak zeharkatzen duen azalera (m²)

m = Mugitzen de airearen masa (Kg)

t = denbora tartea (s)

ρ = Airearen dentsitatea (Kg/m³), normalean 1,255 Kg/cm

v = Haizearen abiadura (m/s)

Haizearen potentzia eskuragarria, harrigarria badirudi ere, froga daiteke C_p -k ezin duela 0,59 balioa gainditu. Beste hitz batzuetan, gehienez haize-energiaren % 59 beregana dezake, energia mekaniko moduan, turbina ideal batek. Goi muga horri Betz-en muga deritzo.

Haize-sorgailu batek haize-energiatik lor dezakeen energia zinetikoa mugatuta dago. Izan ere, haizea, haize-sorgailua zeharkatu ondoren, ezin daiteke zero abiadurarekin atera eta, aldentzean, hurbiltzean zuen energiaren parte bat berekin darama. Albert Betz zientzialari alemaniarrek haize-sorgailu batek haizetik lor dezakeen energia maximoa energia zinetiko guztiaren 16/27 (% 59) dela frogatu zuen. Errotorearen diametroa (D) kontuan hartuta, haize-sorgailu baten bidez lor daitekeen haize-potentzia maximoa horrela kalkulatzeko da:

$$P = 0,29 \cdot D^2 \cdot V^3 \quad (1.8)$$

P = Aire masaren potentzia (W)

D = Turbinaren diametroa (m)

ρ = Airearen dentsitatea (Kg/m³), normalean 1,255 Kg/cm

v = Airearen abiadura (m/s)

1.7.2. ENERGIA BERRIZTAGARRIAK

Gaur egungo gizartean, energia erabiltzeko posibilitatea lehenengo mailako faktore estrategikoa da edozein lurralderen bizitzan. Arazo energetikoek eragin handia dute ekonomian eta eguneroko bizimoduan. Nolabait esateko, energiaren krisia bizi da munduan,

energia baita gizarteko era guztietako jarduerak elikatzen dituen motorra: industria, teknologia, nekazaritza, eraikuntza, garraioak, komunikabideak... Lurralde guztietako arazoa da jarduera ekonomikoaren abiada bermatuko duten energia-iturriak eskura izatea, dela elektrizitate bidez, dela erregaien bidez.

Aldi berean, gizartea garatuz joan den heinean, gizakia konturatu da energiaren erabilera mugak dituela eta mota desberdinetako energia-iturriak kudeatzen ikasi behar duela. Horrela sortu da energia berriztagarriak eta ez-berriztagarriak bereizteko joera, eta ahalegin bereziak egitekoa, batetik, energia ez-berriztagarrien kontsumoa murrizteko eta, bestetik, energia berriztagarrien erabilera garatzeko. Bestalde, urte luzetan eginiko energiaren erabilera desegokia dela eta, naturako ingurumena degradatuz joan da, eta problema latzak sortu dira gizateriarentzat.

Gizakiak historian zehar erabili dituen naturako energia-iturriak dibertsifikatuz joan dira. Historikoki, bere gorputzaren eta abereen energia mekanikoaz landa, erregaien bero-energia izan zen gizakiak aprobeztatzen ikasi zuen lehen energia-mota, sua aurkitu zuenean, eta, geroago, itsasontziak bela bidez higiarazten ikasi zuenean. Gerora, haizearen eta ur-lasterraren energia mekanikoaz baliatzeko teknologia garatu zen (belaontziak, haize- eta ur-errotak...).

Energia-iturriez baliatzeko aldaketa nabarmena gertatu zen iraultza zientifikoaren eta horren eskutik etorri zen industria-iraultzaren ondorioz, XIX. mendean. Lurrin-makina da mugarri nagusietakoa (gainera, asmakuntza horrek garrantzi handia izan zuen zientzian bertan, termodinamikaren sorreran hain zuzen ere). Garraioa (trena, lurrin-propulsioko itsasontzia) eta industriako makineria izan ziren. Ondoren, mende haren amaieran, teknologia elektrikoa ekoizten hasi zen: lurrin-makinaren bidezko sorgailua eta zentral hidroelektrikoa.

Ordura arte, erregai nagusiak egurra eta ikatza ziren. Petrolioak, haren deribatuak (gasolina, gasolio...) eta harrikatzetik lortutako gasak hasi ziren orduan erabiltzen, batik bat garraioan (automobila), argiztapenean eta energia elektrikoaren ekoizpenean (harrikatzarekin batera, zentral termikoetan).

Hurrengo mugarri nabarmena XX. mendeko 40-50eko hamarkadetan etorri zen, fisika nuklearrean egindako ikerkuntzari esker fisio-erreakzioak modu kontrolatuan gertatzea lortu zenean. Zentral elektriko nuklearra eta propulsiio nuklearra izan ziren garapen horren emaitzak.

XX. mendearen bigarren erdialdeaz geroztik, erregai fosilen mugatasuna, teknologia nuklearraren arazo konpondu gabeak eta arriskuak, eta energia-ekoizpenaren eta kontsumoaren ingurumen-inpaktua hasi ziren nabarmentzen. Ondorioz, energia-iturri berriztagarriez baliatzeko teknologiak (haize-energia, eguzki-energia...) eta, oro har, teknologia garbiak eta eraginkortasun handiagokoak garatzeko ahaleginak gero eta

sendagoak dira. Horrekin lotuta, energiaren kontsumo-eredua aldatzea ere aipatu ohi da energia-estrategien artean.

Energia-iturriak sailkatzeko modu bat gure erabiltze-denboraren eskalan zenbateraino diren agorrezinak kontuan hartzea da. Naturan etengabe berritzen den eta agortzen ez den energia-iturriari edo, giza erabileraren ikuspegitik, agortezintzat jo daitekeenari energia berriztagarria esaten zaio. Aldiz, energia berriztaezina deritzo naturan etengabe berritzen ez den eta agor daitekeen energia-iturriari edo, giza erabileraren ikuspegitik, ustiatzen den abiaduran berritzen ez delako agortzeko arriskua duenari.

Energia-iturri berriztagarrien artean, biomasa, energia geotermikoa, energia hidraulikoa, eguzki-energia, haize-energia eta itsas energia daude. Berez, jatorria eguzki-erradiazioan duten energia-iturriek eguzkiak dirauen bitartean iraungo lukete. Egia da, izar orok bezala, Eguzkiak ere bere bizi-zikloa duela eta erregai nuklearra erabat agortzen duenean "itzali" egingo dela. Hori gertatzeko falta den denbora, ordea, izugarri handia da gure denbora-eskalan eta eguzki-energia, beraz, agorrezintzat jo daiteke. Orobat energia hidraulikoa, uraren zikloa eteten ez den bitartean urak lurruntzen eta kondentsatzen jarraituko baitu etengabe.

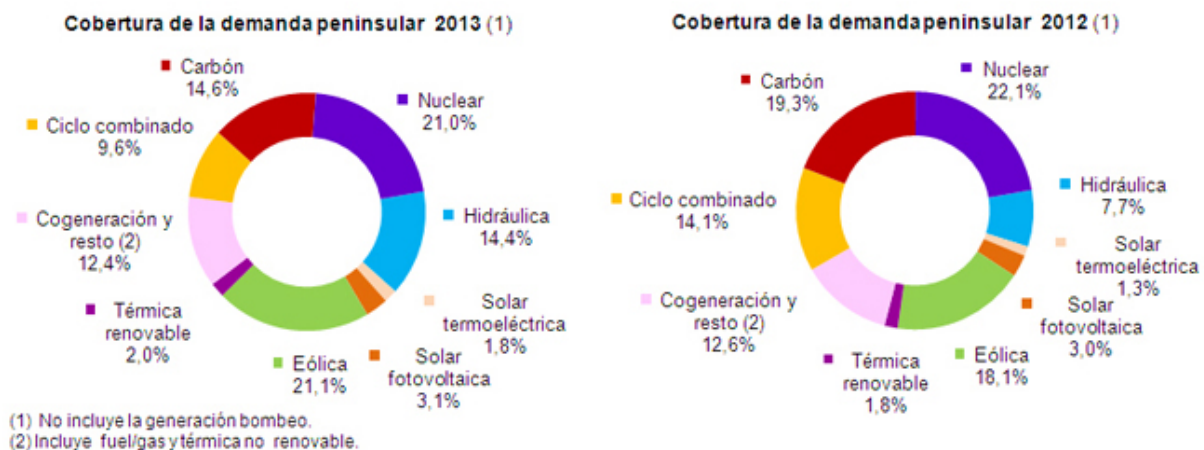
Gauza bera esango genuke haize-energia, marea-energia, uhinen energia, itsasoko energia termikoa eta energia geotermikoaz, horiekin lotutako naturako fenomenoak gertatzea ala ez gizakiak iturri horiek gehiago ala gutxiago ustiatzearen baitan ez dagoelako. Biomasa-energia ere, hau da, landareetako konposatu kimikoetan metatuta dagoen energia kimikoa, etengabe berritzen da, lurrian bizi den artean behintzat. Aitzitik, bada biomasa agor daitekeela eta, horrenbestez, hein batean ez dela berriztagarria esaten duenik; izan ere, jasotako uzta erregai gisa erabiltzeko helburua duen laborantza oso intentsiboa izaten da, eta horrek, ongi kudeatu ezean, epe luzera eragin kaltegarriak izan ditzake ingurumenean eta lurra honda dezake; bestalde, basoen ustiapena modu egokian ez kontrolatzeak ere biomasa berriztagarria ez izatea ekar dezake.

Ondoko 1.10. irudian ikusten denez energia eolikoa ekarpen oso garrantzitsua egin dio azken bi urtetan penintsulako behar energetikoari, 53.926G Wh-ko produkzioa izanik, 2012. urtean baino %12a gehiago.

1.7.3. ENERGIA EOLIKOA

Zer da?

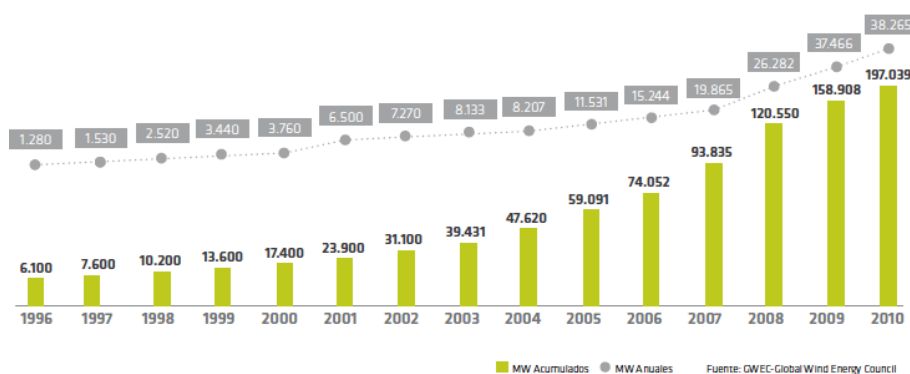
Haizearen energia zinetikoaz baliatuz lortzen den energia da eolikoa. Haizea, airearen dentsitate desberdinen ondorioz, atmosferan sortzen den aire-mugimendua da. Dentsitatea, oster, eguzkiak lurraren azala neurri desberdinean berotzen duelako aldatzen da. Munduan, haize-energia bihurtzen den eguzki-energia 10×10^6 kilowatt-orduko energia sortzeko



Irudia 1.10.: Estatuko behar energetikoaren estaldura.

adinakoa dela kalkulatzen da, eta horrek aise gaintitzen du gaur munduan dagoen energia elektrikoaren eskaria. Haize-energia, haize-sorgailuen bidez, energia elektriko bihurtu daiteke.

Capacidad eólica instalada en el mundo (1997-2010)



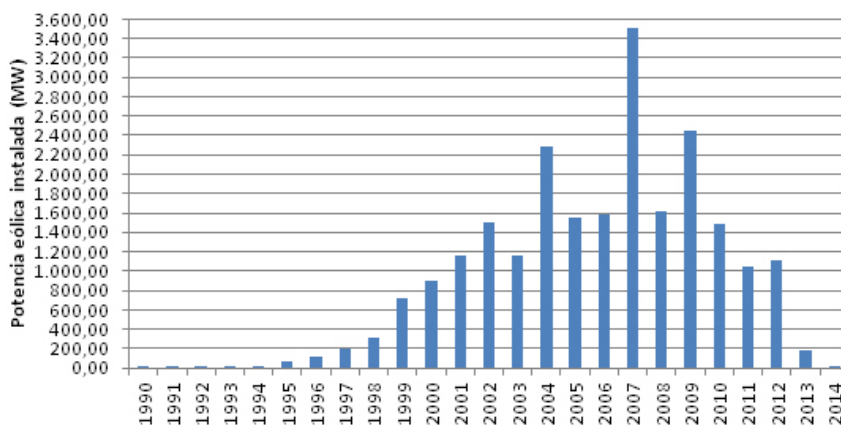
Irudia 1.11.: Mundu mailan instalatutako potentzial eolikoa

Energia sortzeko haizearen aprobetxamendua zibilizazioa bezain zaharra da, aspaldian gizakiak nabigatzeko erabiltzen baitzuen. Beste aldetik, haize errotaren lehenengo erreferentzia idatziak pertsiar enperadoregoaren garaian (500 urte k.a.) dagozkio. Garaia ehotzeko edota ura ponpatzeko, azken 25 mendeetan haizea laguntza ikaragarria izan da.

XX. mendearen hasieran, haizea argindarra sortzeko erabiltzen hasi zen, baina hasieran instalazioen ahalmena oso txikia zen. Hala ere, azken urteetan lortutako garapen teknologikoari esker ahalmena eta etekina hobetzen igaro dira, eta ondorioz energia eolikoa utopia egoeratik energia iturri alternatiboa izatera joan da.

Haizearen indarra elektrizitatea bihurtzeko aparatuari aerosorgailua deritzo. Eta bere ardatzaren orientazioaren arabera, mota bi daude: ardatz horizontalekoak (etekin handiagoa dutenak) eta bertikalekoak. Lehenengoa da EAEn eta Nafarroan gehien instalatu dena, eta hiru osagai ditu: errotorea, gondola eta dorrea.

Evolución de la potencia eólica instalada año a año en España (en MW)

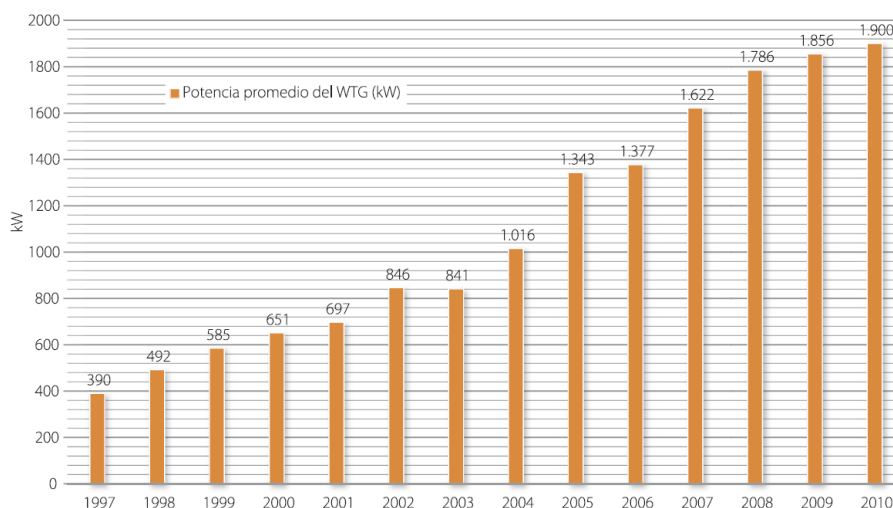


Fuente: AEE

Irudia 1.12.: Energia eolikoaren produkzioaren eboluzioa Espainian

Azken 25 urteotan aerosorgailuen ahalmena asko handitu da teknika berriei esker. Kontuan hartzen bada aerosorgailu batek sor dezakeen potentzia bere helizearen tamainaren araberakoa dela, gero eta aerosorgailu handiagoak egiten ari dira. Teknologia honen garapena eta norberak sortutako energiaren salmentarako joera handitzen direla eta, instalaturiko kW eolikoaren prezioan izugarritzko murrizketa izan du.

Gaur egungo aerosorgailuen altuera asko handitu da eta batez besteko potentzia unitateko 2 KW-etik gora dago dagoeneko. Itsasoan eraikitzen diren parke eolikoetan (offshore) jartzeko azken aerosorgailuak 8 MW-ekoak dira. Ondoko 1.13. grafikoan ikus daitekeenez instalatzen diren aerosorgailuen batez besteko potentziaren bilakaera azken urteetan.



Irudia 1.13.: Munduan Instalaturiko aerosorgailuen batez besteko potentzia.

Euskal Herriko Hegoaldean hau da energia berriztagarririk garrantzitsuen. Izan ere, 2003. urtean EAEn instalaturiko parke eoliko kopurua 27tik 85era igo zen, eta Nafarroaren

ahalmena oraindik 8.5 aldiz handiagoa da (717 parke).

Gaur egun bi joera nagusi agertzen ari dira energia eolikoaren garapenean kokapenari dagokionean: itsas eremuko energia eolika “off shore” eta lur eremuko energia eolika “on shore”. Itsas eremuko energia eolika “off shore” izenaz ezagutzen dena azken hamarkadan izan du garapenik handiena.

Itsasoan kokatutako aerosorgailuak, normalean, potentzia handikoak dira, 2MW- 5MW artean. Instalazio konplexu eta garestiak dira, baina lan egiten duten potentzia handiei esker etekin handia ateratzen zaie, gainera haizearen baldintzak itsasoan hobekiago izaten dira, beraz instalazioen errendimendua handiagoa izaten da.

Penintsulako potentzial eolikoari buruzko Greenpeacek egindako ikerketa baten arabera, 2050. urtean itsasoko energia eolikoan oinarritutako 164.760 MW-ko elektrizitate potentzia instalatu ahal izango da eta urtean 334 TWh-ko energia sortu; horrek 2050ean proiektatutako penintsulako elektrizitate eskaeraren %119,3 estaltzea ahalbidetuko luke.

Lur eremuko energia eolikoak “on shore” izenaz ezagutzen dena, historikoki gehien erabilitakoa da. Haizearen indarra elektrizitate bihurtzen du lurtean kokatutako aerosorgailuen bidez.

Penintsulako potentzial eolikoari buruzko Greenpeacek egindako ikerketa baten arabera, 2050. urtean lurteko energia eolikoan oinarritutako potentzia elektrikoaren 915.000 MW instalatu ahal izango dira, eta urtean 2.285 TWh-ko energia kantitatea sortu; ondorioz, 2050ean proiektatutako penintsulako elektrizitate eskaera zortzi aldiz baino gehiagotan estali ahal izango da.

1.7.4. AEROSORGAILU MOTAK

Aerosorgailuen garapen teknologikoa oso handia izan da azken urteotan, erabilera eta helburuaren arabera joera ezberdinak agertu dira aerosorgailuen eraikuntzan eta modu honetan premia edo erabileraren araberako diseinu desberdineko makinak ditugu. Ez dago hobe edo txarragorik, kasuan kasuko premiei egokituta, guztiek haizeari ahalik eta etekin handiena lortzea dute helburu.

Era honetan, irizpide ezberdinen arabera sailka daitezke aerosorgailuak.

- ▷ Sortzen duten potentziaren arabera
- ▷ Ardatzen orientazioa, eta turbinaren forma edo hegal kopuruaren arabera.

1.7.5. Potentziaren arabera aerosorgailu motak.

Aerosorgailuek sortzen duten potentziaren arabera, honela sailkatzen dira

Mikroturbinak edo oso potentzia baxuko aerosorgailuak:

1,5 kW-ko potentzia artekoak dira. Sistema isolatuetan erabiltzen dira gehienbat, sortutako energia elektrikoa erabiliz bateriak kargatu ahal izateko. Normalean iman iraunkorreko sorgailu elektrikoa erabiltzen dute eta ez dute kutxa biderkatzailerik erabiltzen. Ardatz horizontaleko makinak dira, diametro txikiko bi edo hiru besoko hegalekin (1m eta 5m artean), abiadura altuan eta aldakorrean lan egiten dute. Sortzen duten energia elektrikoa alternoa da, maiztasun aldakorrekoa, arteztu ondoren bateriak kargatzeko erabiltzen dena.

Miniturbinak edo potentzia baxuko aerosorgailuak:

Potentzia 50kW arteko aerosorgailuak dira. Sistema isolatuetan energia elektrikoa sortzeko ere erabiltzen dira, normalean bateriak kargatu ahal izateko. Etxebizitzan energia elektrikoaren autokontsumoan erabiltzen dira, eta beste energia mota batzuekin sistema hibridoak sortzeko erabiltzen dira: energia fotovoltaikoa, hidraulikoa....

Potentzia baxukoa bada iman iraunkorreko sorgailuak erabiltzen dira eta kutxa biderkatzailerik gabe. Hala ere, potentzia handiagoko kasuetan kutxa biderkatzailerik erabiltzen dira, sorgailu elektrikoak turbinaren errotorearen abiadura baino handiagotan funtzionatzen duelako. Hemen ardatz bertikal eta horizontalekoak erabiltzen dira

Potentzia ertaineko aerosorgailuak :

Potentzia 850 kW arteko aerosorgailuak dira. Kasu honetan sortzen den energia elektrikoa sare elektrikoan igortzen da. Aerosorgailu azkarrak izaten dira normalean, hiru hegalekoak. Bere diametroa 25 eta 55 m artekoa izaten da. Engranajezko kutxa biderkatzailerik erabiltzen dute. Hauek dira lurreko parke eolikoetan azken hamarkadan gehien erabili direnak. Gaur egun potentzia hauek gaintu egin dira eta potentzia handiagoko aerosorgailuak erabiltzen dira.

Potentzia handiko aerosorgailuak eta multimegawatt:

Bere potentzia 1 MW baino handiagoko aerosorgailuak dira. Sortzen duten energia elektrikoa sarean sartzen da. Engranajezko kutxa biderkatzailerik eta erregulazio sistemak erabiltzen dituzte. Bere diametroak 50 m-tik gorakoak dira eta bere altuera 60 eta 100 m artekoa izan daiteke. Lurreko parke eolikoetan erabiltzen badira ere, honelako aerosorgailuak gero eta gehiago itsasoan *off shore* erako parkeetan erabiltzen dira.

Azken urteetan potentzia handiko aerosorgailuen garapena handiagoa izan den arren, itsasoko parke eolikoaren zabalkundea dela eta, potentzia txiki edo ertaineko aerosorgailuen instalazioen aldeko joera indartzen ari da, ekoizpen puntu gehiago eta sakabanatuagoak. Sistema hauek zenbait abantaila dute:

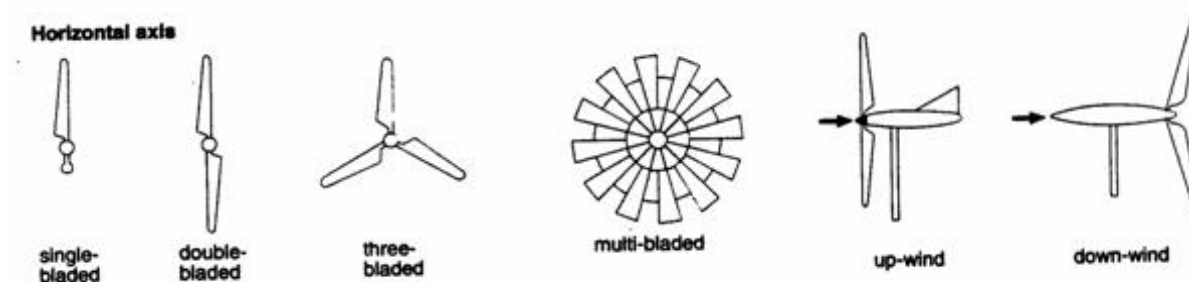
- ▷ Autokontsumorako erabiltzen den kasuetan, energia elektrikoaren fakturan aurrezpen garrantzitsua ekar diezaioke erabiltzaileari.
- ▷ Sortutako energia elektrikoaren transformazio, garraio eta banaketa gastuak murriztu egiten dira.
- ▷ Dagoeneko existitzen diren azpiegiturak erabili daitezke, azpiegitura erraldoiak sortu behar izan gabe.
- ▷ Energia berriztagarrien erabilera areagotzen da.
- ▷ Elektrizitate horniketaren kalitatea hobetzen da (azken belaunaldiko aerosorgailuak erabiliz gero).
- ▷ Azpiegitura hauen instalazio prozesua eta mantenua simple eta merkeagoak dira.
- ▷ Sistema produktibo banatuago sortzen da. Munduan energia era orekatuago batean banatzen da, eta honek aberastasunaren banaketa suposatzen du.

1.7.6. Ardatzaren orientazioaren arabera aerosorgailu motak

Ardatz horizontaleko aerosorgailuak (HAWT)

Hauek dira azken urteotan gehien garatu direnak, eta historian zehar industrian ezarpen handiena izan dutenak. Mundu mailan energia elektrikoa sortzeko gehien instalatzen diren aerosorgailuak dira, batez ere ekoizpen handiko sistemetan. Eraginkortasun handiena dute makina hauek, haizearen energiaren eraldaketari dagokionez.

Turbinen beso edo hegal kopuruaren arabera turbina ezberdinak daude: beso bakarrekoa, bi besokoa, hiru besokoa eta beso anitzekoa.(1.14. irudia).



Irudia 1.14.: Ardatz horizontaleko aerosorgailu motak.

Gehien erabiltzen dena gaur egun hiru beso edo tripala motakoa da, funtzionamenduan jarduerarik onena erakusten duelako. Funtzionamenduan egonkorragoa da, ez baitu horrenbeste dardararik sortzen, suabeago ibiltzen da. Hiru edo pala gehiagoko turbinek abiadura txikiagoan funtzionatzen dute beso bakarra edo bi besotakoekin konparatuta, eta honek aerosorgailuen zarata maila murrizten du.

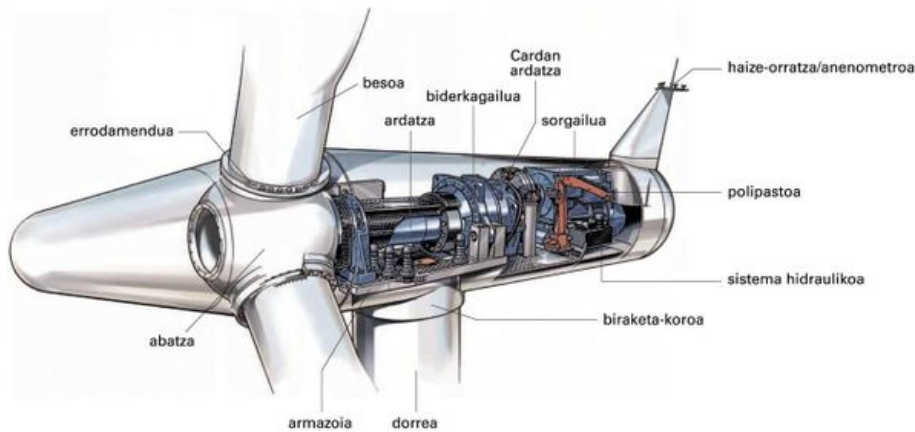
Ardatz horizontaleko sorgailu gehienek antzeko egitura dute, baina haizeak kokaleku bakoitzean era ezberdinean eragiten du, eta beraz, kokapen bakoitzaren ezaugarri berezietara egokitzen diren aerosorgailuak garatu behar dira.

Orokorrean aerosorgailu mota hauen bere zati garrantzitsuenak hauek dira (1.15. irudia)

- ▷ **Errotorea:** Haizearen energia mekaniko bihurtzen du. Bertikalki edo horizontalki kokatu daiteke. Gaur egun ardatz horizontaleko aerosorgailuak erabiltzen dira, besoek edo palek jasan behar dituzten karga mekanikoak gutxitzen direlako eta eraginkorragoak direlako.
- ▷ **Dorrea:** Kaxari eta errotoreari eusten dien elementua. Altzairuz fabrikatutako elementu tubularrak dira eta bere pisua %50a gutxitzea lortu da diseinu berriei esker. Bere garaiera gero eta handiagoa da, diametro handiagoko errotoreei eutsi ahal izateko eta horrela energia gehiago sortzeko.
- ▷ **Palak:** Haizearen energia zinetikoa jaso eta energia mekaniko bihurtzeaz arduratzen dira. Beira-zuntzean eta poliesterrean fabrikatuak, gaur egungo aerosorgailu handien kasuan, aerosorgailu bakoitzeko hiru beso erabiltzen dira, turbinari egonkortasun handiagoa ematen baitiote. Hauen diseinuan erresistentzia aerodinamikoa eta euste-galera kontutan hartzen dira, luzera handiko besoen ertzetan gertatzen den abiadura handiak materialen erresistentzia mugan jartzen du eta. Egun erabiltzen den teknikak pisua murriztu, erresistentzia handitu eta sortzen den hotsa gutxitzea du helburu.
- ▷ **Kaxa edo barkilla:** Aerosorgailuaren elementu mekaniko nagusiak bere barruan kokatzen dira: biderkagailua, sorgailu elektrikoa, anemometroa
 - *Biderkagailua:* Errotorea sorgailu elektrikora konektatzen duen engranajezko transmisio mekanikoa da. Honen zeregina errotorearen biraketa-abiadura txikia handitzea da, sorgailu elektrikoak behar duen abiadurara, hain justu ere.
 - *Sorgailua:* Errotoretik datorren energia mekanikoa erabiliz energia elektrikoa sortzen du tresna honek. Sortzen duen energia hau era isolatuan erabili daiteke edo sare elektriko orokorrera banatu.
 - Anemometroa eta haize-orratza: Barkillaren goiko aldean haize-orratza kokatzen da, haizearen arabera barkilla orientatzen duena. Anemometroak, aldiz, haizearen abiadura neurtzen du, aerosorgailuaren funtzionamendurako sistema guztiak hartara egokituz.

Aerosorgailu mota hauek ez dira horrenbeste erabiltzen gaur egun, eta ez dira horrenbeste garatu. Azken urteetan, energia eolikoa jasan duen bilakaerari esker, gero eta ikerketa gehiago egiten ari dira aerosorgailu hauen inguruan. Normalean sistema isolatu, edo autokontsumoko kasuetan erabiltzen da, kontsumo ertain edo baxuko instalazioen horniketarako.

Bere forma simetrikoa eta ardatzen kokapenari esker, ez dute orientazio sistemarik behar, hau da hain zuzen aerosorgailu mota hauen abantaila nagusia. Honen ondorioz eraikuntza



Irudia 1.15.: Aerosorgailu baten zatiak.

prozesua sinplea da normalean eta beraz fabrikazio eta mantenu kosteak murriztu egiten dira.

Daukaten itxura eta egiturari esker lurretik distantzia txikiago batera kokatzen dira, ardatz horizontalekoekin konparatuta, dorre altuen konplexutasunak ekidinez. (1.16. irudia)

Nagusiki bi diseinu erabiltzen dira: Darreius eta Savonius, eta bi mota hauen aldaera edo diseinu optimizatuak. Azken urteetan beste diseinu batzuen inguruko garapena ere egon da, Giromillen kasuan adibidez.

Ardatz bertikaleko aerosorgailuak (VAWTT)

Savonius Turbina

Turbina hauek fabrikazio prozesu sinplea eta kostu baxua dute, aldez, diseinu klasikoak ez dira oso eraginkorrak. Oinarizko diseinuen kasuan errendimendua %15 inguruan kokatzen da. Normalean potentzia txikia behar den kasuetarako erabiltzen dira, abio indar-pare handia behar du martxan jartzeko. Turbulentziekin ere portaera hobeago erakusten du eta berez frenatzen da, edo ez du abiadura handiegirik hartzen.

Bere formagatik duen arazo nagusia besoetako batean jasotzen duen haizearen kontrako indarra da. Besoen kokapenaren ondorioz, biraketa mugimenduan osilazioa agertzen zaio, eta honek bere errendimendua asko mugatzen du eta ez dio uzten abiadura muga tarte handiagotan lan egiten. Errotorea martxan dagoenean beti dago beso bat haizearen norabide eta norantzaren kontra kokatzen dena, eta beste besoa alde. Honek herrestatze indarra sortzen du beso bakoitzean kontrako norabidean. (1.17. irudian)

Savonius klasikoa duen errendimendua hobetzeko asmoz, diseinu garapen ezberdinak egin dira. Era honetan, ardatz berean desfasatutako savonius errotore sistema ezberdinak

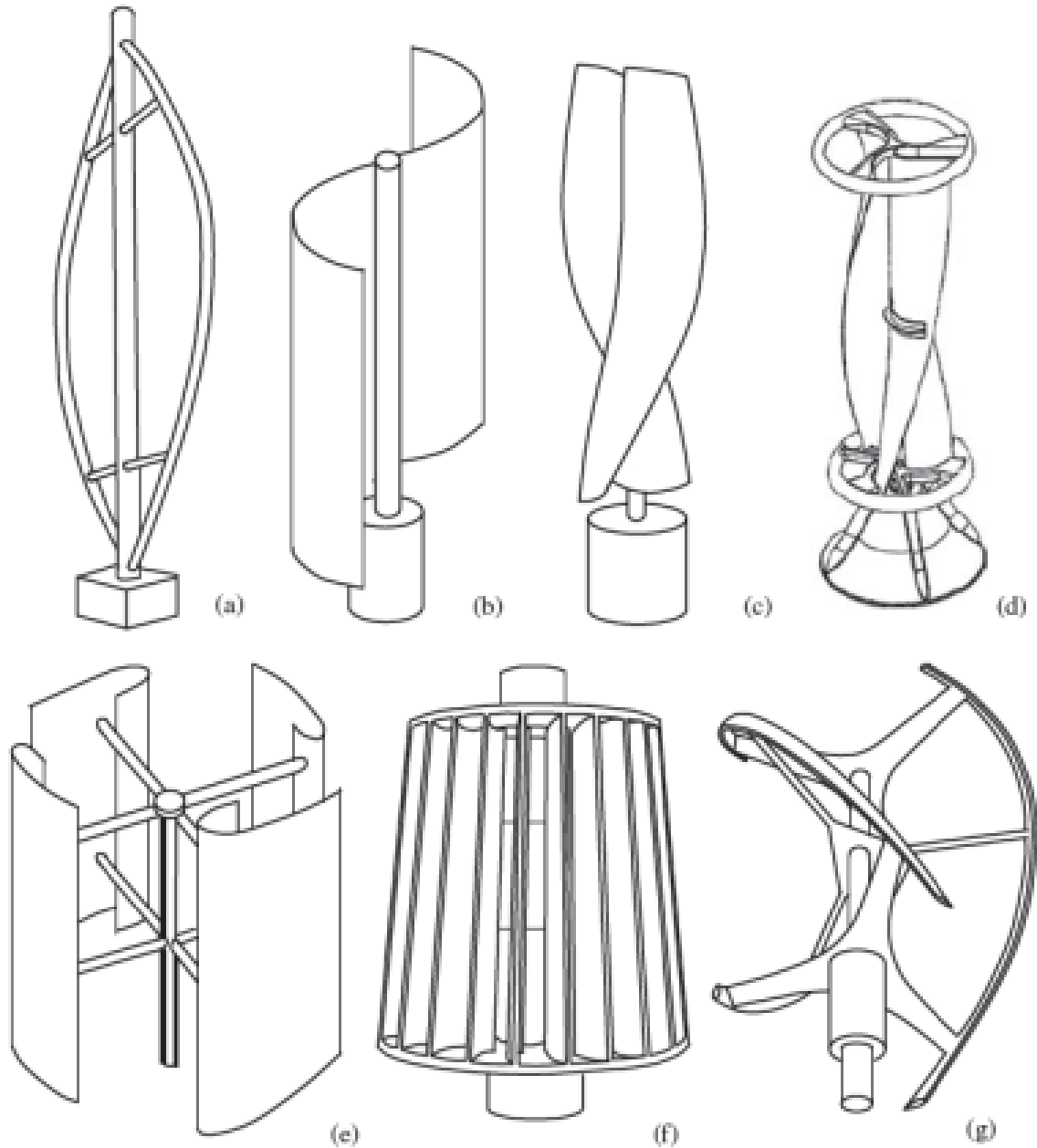
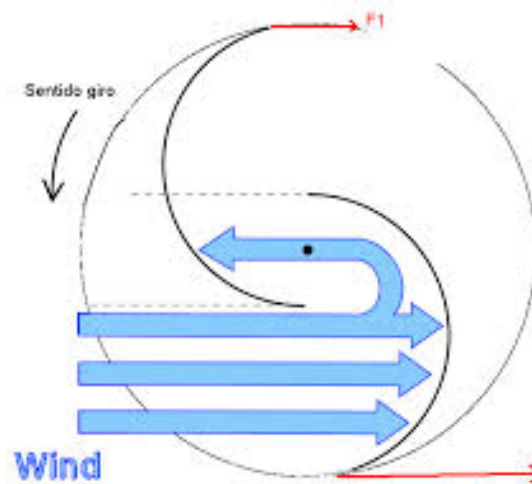


Figure 6: Several typical types of vertical-axis wind turbines: (a) Darrius; (b) Savonius; (c) Solarwind™ [36]; (d) Helical [37]; (e) Noguchi [38]; (f) Maglev [39]; (g) Cochrane [40].

Irdia 1.16.: Ardatz bertikaleko aerosorgailu motak.



Irudia 1.17.: Haizearen indarrak savonius turbina batean



Irudia 1.18.: Savonius klasikoaren hobekuntza diseinuak.

konbinatzen direnean errendimendua hobetzen da, biratze indar-parea egonkorragoa ematen duelako.

Bide honetan, beste maila batera igotzeko asmoz, savonius turbinaren diseinu helikoidala garatu da azken hamarkadan. Honek, biratze indar-pare egonkorragoa ahalbideratzen du biratzerakoan. Modu honetan konponduta geratzen dira konfigurazio klasikoan sortzen diren galerak eta errendimendu arazoak (1.18. irudia).

Abio indar-pare ona dauka eta haize abiadura txikian funtzionatzeko gai da, omnidirekzionala eta auto-orientagarria.

Darrieus turbina.

Lurrarekiko perpendikularra den ardatz baten inguruan biltzen diren D itxurako palez osatutako sistema da. Forma bereko bi edo hiru besoz osatuta daude normalean, tamaina handikoak.



Irudia 1.19.: Darreius turbina.

Bihurtze eta kontrol sistemak behealdean kokatzen dira, horrek bere fabrikazio eta mantenu prozesua errazten du. Ardatz bertikaleko besteek bezala ez du orientazio sistemarik behar. Turbina hauek errendimendu baxua daukate eta abio indar-pare handia behar du martxan jartzeko. Eraginkortasunik handiena abiadura egonkorretan lortzen dute, normalean %40 inguruan egoten da. Abiadura handiekin zaratatsuak dira. (1.19. irudia)

Giromill turbina. Azken urteetan egindako ikerketen ondorioz beste diseinu garapenak egin dira, horren adibidea daukagu giromill turbina.

Ardatzari lotutako beso bertikalez osatuta dago, 3 normalean, eta potentzia txikia edo autokontsumoko instalazioetan erabiltzen da momentuz.(1.20. irudia)

1.7.7. Aerosorgailuen arteko konparaketa.

Potentziari dagokionean, potentzia txikiko instalazio eolikoek, instalazio eoliko handiekin alderatuta abantailak ekartzen dizkieten berezko ezaugarriak dituzte, garraio eta banaketa sareetan eragotzitako galerengatik eraginkortasun orokor handiagoa, esaterako, eta sorkuntza berriztagarriaren txertaketa ahalbidetzen dute azpiegitura elektriko berriak sortzeko beharrik gabe. Horrez gain, herritarren esku-hartzea bultzatzea dezakete eraginkortasun energetikoari, auto-horniketa energetikoari eta klima-aldaketaren aurkako borrokari dagokionez.

Egun, aerosorgailu txikiak isolatutako eraikuntzen autokontsumorako erabiltzen dira, batik bat. Gainera, eguzki-panel fotovoltaikoak izan ohi dituzte sistema hibrido txikiak osatuz eta eguzki- eta haize-energiaren konbinaketaren bidez hornidura elektrikoa bermatzea



Irudia 1.20.: Giromill turbina mota desberdinak.

ahalbidetzen dute. Nahiko fidagarriak diren sistema horiek haizerik edo eguzkirik ez dagoenerako energia soberakina metatzeko bateriak dituzte.

Turbina horiek teknikoki handien antzeko egitura dute, baina diseinua askoz ere arruntagoa da (orientazio-sistema pasiboak, mantentze-lan urriko sorgailu elektriko sendoak, biderkatzaileen falta...). Funtzionamendu errazari esker, instalazio txiki horiek erabiltzaileek erabil ditzakete, oro har.

Mundo Mailako Energia Eolikoaren Elkarteak (World Wind Energy Association), bere 2011ko munduko mini eolikoari buruzko txostenean adierazten zuen era honetako instalazioak %27 igo egin zirela, aurreko urtearekin konparatuta.

Ardatzaren orientazioari dagokionean, ondorengo taulan laburtzen dira aerosorgailu mota desberdinen arteko konparaketa (1.2. taulan)

Dena dela, turbinen arteko konparaketa zehatzago egin ahal izateko parametro batzuk definitu behar dira lehendabizi: **abiadura espezifiko** (λ) **eta potentzia koefizientea**, (C_p)

Haizeak eman dezakeen potentzia kalkulatzeko:

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 \quad (1.9)$$

P = Aire masaren potentzia (W)

C_p = potentzia-koefizientea.

A = Haizeak zeharkatzen duen azalera (m²)

m = Mugitzen de airearen masa (Kg)

t = denbora tarte (s)

ρ = Airearen dentsitatea (Kg/m³), normalean 1,255 Kg/cm

Taula 1.2.: Aerosorgailuen arteko konparaketa.

Ardatza	Errotore mota	Errendimendu maximoa	Ezaugarriak
Horizontala	Holandarra	0,17	30-60 kW. Abio indar-pare handia. Abiadura ertainak. Palen diseinu ez eraginkorra. 4 pala.
	Multipala amerikarra	0,15	0,4-6 kW. Abio indar-pare handia. Abiadura txikiak. Galera handiak. 12-15 pala.
	Profil aerodinamikoa (Helizea)	0,47	0,5-3.200 kW. Abio indar-pare txikia. Abiadura handiak. Eraginkortasun handia 1-3 pala.
Bertikala	Savonius	0,30	0-1,5- kW. Abio indar-pare handia. Ez du orientaziorik behar. Abiadura txikiak. 2-4 pala.
	Darreius	0,35	0-500 kW. Abiarazteko laguntza behar. Ez du orientaziorik behar. Errendimendu ona Abiadura handiak. 2-3 pala.

$v =$ Airearen abiadura (m/s)

C_p potentzia-koefizientea: Dimentsiorik gabeko zenbakia da, eta zera adierazten du haizeak turbinari eskaintzen dion energia guztiaren zein frakzio (hainbesteko bateko) eskuratzeko gai den turbina. Turbinaren eraginkortasunaren adierazle bat da, hortaz. Betz zientzilariak demostratu zuen bezala, harrigarria badirudi ere, froga daiteke C_p -k ezin duela 0,59 balioa gainditu. Beste hitz batzuetan, gehienez haize-energiaren % 59 beregana dezake, energia mekaniko moduan, turbina ideal batek. Goi muga horri Betzen muga deritzo.

$$C_p = \frac{P.W}{p} \quad (1.10)$$

$P_w =$ Potentzia mekanikoa turbinaren ardatzean

$P =$ Haizearen potentzia maximoa

C_p bi aldagairen araberkoa da: palen inklinazioa «pitch» angelua (β) eta palaren muturreko abiadura-erlazioa izeneko parametroa da **λ , abiadura espezifikoa** alegia.

λ abiadura espezifikoa (TSR), haizearen abiadura eta besoetako puntetan dagoen abiadura periferikoa arteko erlazioa da.

$$\lambda = \frac{\text{Palen} - \text{puntetako} - \text{abiadura}}{\text{Haizeare} - \text{abiadura}} = \frac{\Omega.R}{V_w} = \quad (1.11)$$

$\Omega =$ Palen puntetako abiadura angeluarra. (rad/s)

$R =$ abiadura lineala (m/s)

Errotorearen abiadurari erreparatzen badiogu:

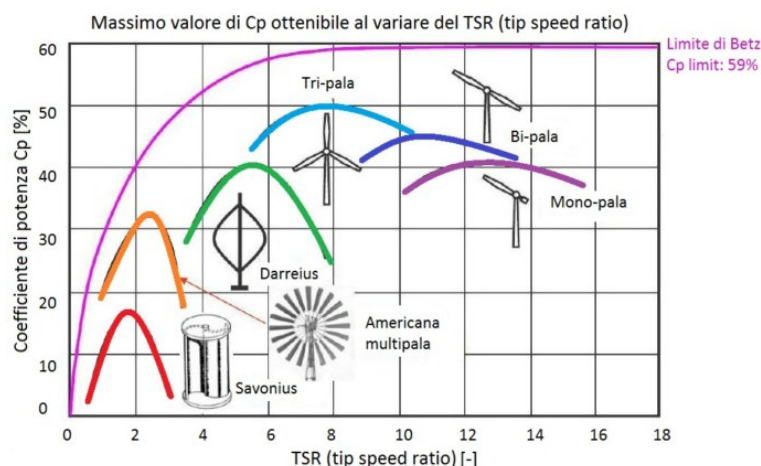
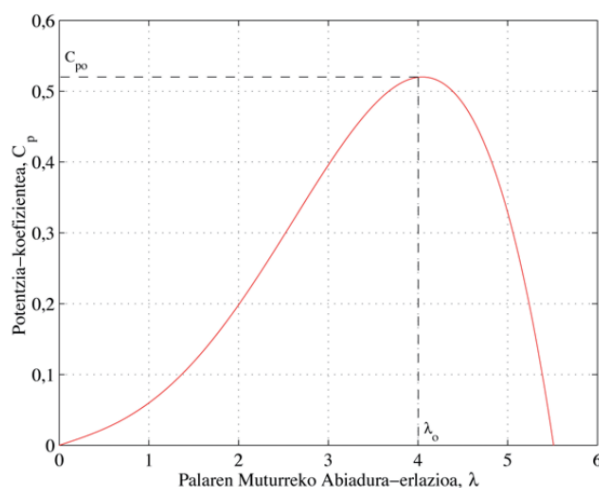
Makina motelak : abiadura espezifikoa (TSR) 2 baino txikiagoa denean.

Makina azkarrak: abiadura espezifikoa (TSR) 4 baino handiagoa denean.

Honek zera adierazten du besoetako periferiak duen abiadura TSR aldiz handiagoa dela haizearen abiadurarekin konparatuta.

Turbina desberdinen C_p et TSR parametroak konparatzen baditugu, aerosorgailuen eraginkortasuna taula batean aztertu dezakegu (1.21. irudia)

Honela, turbina baten eraginkortasunaren azterketa egokia egiteko, bere potentzia koefizientearen kurba ezagutu behar da, C_p eta λ -ren arteko erlazioa, esperimentalki ezarriz turbina jakin bakoitzerako. 1.22 Irudiak potentzia-koefizienteak λ -ren funtzioan aurkezten duen ohiko ezaugarri bat islatzen du. Bertan ikus daiteke $C_{p0} = 0,52$ potentzia-koefiziente optimoa bermatzeko, turbina jakin horretarako λ -ren balioa $\lambda_0 = 4n$ konstante mantendu behar dela.

Irudia 1.21.: Turbinen konparaketa C_p et TSR parametroen arabera

Irudia 1.22.: Aerosorgailu baten kurba.

1.7.8. SORGAILU ELEKTRIKOAK

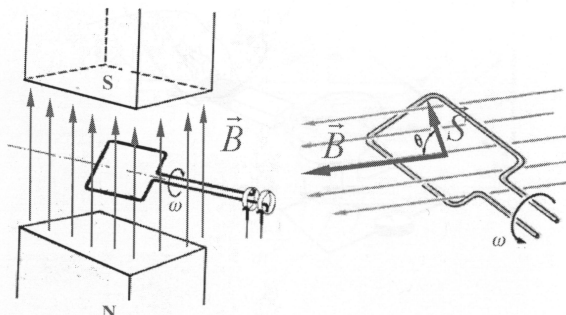
Sorgailu elektrikoa

Sorgailua makina elektriko birakaria da, eta bi osagai nagusi ditu: zirkuitu magnetikoa eta zirkuitu elektrikoa. Haren funtzionamenduaren funtsa indukzio elektromagnetikoa da: eroale batek eremu magnetiko bat zeharkatzen duenean edo eroalearen inguruko fluxu magnetikoaren intentsitatea aldatzen denean, eroalean indar elektroeragile bat induzitzen da, hau da, eroalearen muturren artean potentzial-diferentzia bat agertzen da. Sorgailuan ekoizten den energia elektrikoa kanpoko zirkuitu batera ateratzen da, zuzenean erabili edo metatu ahal izateko.

Sorgailu edo generadore sinpleena da, espira laukizuzen bat biraka eremu magnetiko uniforme batean. Espirak birarazteko metodo ugari daude: besteak beste, turbina bat biraka jarrita, bai ur-korrente batez zentral hidroelektrikoetan bezala, zein lurrin-txorro batez, zentral termikoetan bezala. Energia elektrikoa sortzeko beste energia-mota bat

ustiatu behar da: zentral hidroelektrikoaren kasuan, urtegi bateko uraren energia potentziala bilakatzen da eta zentral termikoaren kasuan ikatza edo beste erregai fosil baten energia kimikoa.

Espirak biratzen duenean, eremu magnetikoaren fluxua aldatzen da denborarekiko, beraz, indar elektroeragile bat induzitzen da.



Irudia 1.23.: Espira biraka eremu magnetiko batean

Indar elektroeragile hori kanpoko zirkuitu batean erabili ahal izateko, espiraren mutur biak eraztun banarekin konektatzen dira (mutur bakoitza eraztun batekin) alboko 1.23. irudiak erakusten duen bezala. Eratzunak ere espirarekin batera biraka daude eta kontaktuan eskobila irristakor batzuekin. Eskobilak gelditu daudenez, kanpoko zirkuitua bertan konektatu daiteke; horrela osatzen da sorgailua. Sorgailuan bonbilla bat konektatzen bada, bonbillaren filamentutik korrante batek zirkulatuko du, gori ipiniko da eta argitasuna emango du. Espiraren abiadura angeluarra handitzean bonbillak ematen duen argitasuna ere handituko da.

Sortzen duten tentsio elektrikoaren arabera, sorgailuak bi motatakoak izan daitezke:

- ▷ Alternadoreak, kanpoko zirkuituari korrante alternoa ematen badute.
- ▷ Dinamoak, korrante zuzena ematen badute.

Sorgailuen atal mekaniko nagusiak estatorea (finkoa) eta errotorea (birakaria) dira. Dinamoetan, eremu magnetikoa sortzeko harilak estatorean kokatu ohi dira, eta korrante elektriko errotoreko hariletan sortzen da. Alternadoreetan, berriz, alderantziz izaten da.

Gaur egun, elektrizitate-sarera konektatuta dauden energia elektrikoaren sorgailu gehienak alternadore trifasikoak dira. Energia elektrikoaren sareek maiztasun finkoa erabiltzen dutenez (50 edo 60 Hz), alternadoreek ere maiztasun finkoko korrantea sortu behar dute sare berera konektatu ahal izateko. Horregatik, alternadore handi gehienak (zentral elektriko handietan instalatuta daudenak) sorgailu sinkronoak izan ohi dira, abiadura finkokoak alegia.

Dinamoetan ez bezala, kitzikapeneko alternadoreetan eremu magnetikoa errotorean sortzen da. Burdinazko errotore zilindrikoaren azalean artekak daude, eta han sartzen dira haril magnetizatzaileak, korrante zuzenez elikatuta. Estatorea ere burdinazkoa da, eta haren

arteketan sartzen dira harilak. Errotorea biraka hasten denean, estatoreko hariletan tentsioa induzitzen da. Horrela sortutako korrante altxatzearen maiztasuna errotorearen abiadurarekiko proportzionala da.

Baldin errotorean bi polo badaude, errotorearen bira bakoitzeko uhin sinusoidal oso bat induzituko da estatoreko hariletan. Beraz, 50 Hz-eko (50 ziklo segundoko) maiztasuna lortzeko, errotoreak segundoko 50 birako abiadura finkoan biratu beharko du, hau da, 3.000 bira minutuko. Horrelakoak izaten dira gas eta lurrun turbinek mugiarazitako alternadoreak.

Baina errotorean bi polo ez, eta lau jartzen badira, bata bestetik 90° -ra, bira bakoitzeko bi uhin sinusoidal oso induzituko dira estatoreko hariletan; beraz, 50 Hz-eko maiztasunari eusteko, errotoreak minutuko 1.500 bira egin beharko ditu. Zenbat eta polo-pare gehiago jarri, hainbat biratze-abiadura txikiagoa beharko da. Adibidez, ur-turbinek oso abiadura txikia dutenez, haiek eragindako alternadoreek polo-pare asko izaten dituzte.

Sorgailuen harilkatua kitzikatzeko duten sistemaren arabera, sorgailuak bi multzotan bana daitezke

- ▷ **Indukziozko sorgailuak**, kitzikapen beste haril baten bidez sortzen du estatoreko harilkatuek behar duten eremu magnetikoa.
- ▷ **Iman iraunkorreko sorgailuak**, imanen bitartez lortzen da estatoreko harilkatuek behar duten eremu magnetikoa.

Kasu honetan, ondoren azalduko denez, iman iraunkorreko sorgailu baten diseinuaren alde egin da.

Iman iraunkorreko sorgailua (PMG)

Iman iraunkorreko sorgailua, sorgailu sinkrono bat da, normalean errotorean dagoen kitzikapen harilkatuaren ordez, iman iraunkorren sistema jartzen da, honek kitzikapen eremu magnetiko iraunkorra ematen duelarik. Bere funtzionamenduak alde handia dauka ohiko sorgailu sinkrono baten funtzionamenduari alderatuz.

Ohiko sorgailu sinkrono batean irteerako tentsioa kitzikapen tentsioaren bidez kontrolatzen da, aldiz iman iraunkorren sorgailuetan kitzikapen eremua konstantea da, beraz, karga konektatzen zaionen sorgailuaren irteerako tentsioa jaitsi egiten da, eta ezin erregulatu. Normalean tentsio jaitsierak garrantzirik ez duenean edo irteeran erregulazio sistema elektronikoa duten kasuetan erabiltzen da. Elektronikak tentsio tarte aldakora, tentsio konstantea bihur dezake. Irteerako tentsioa iman, harilkatu eta biraketa abiaduraren menpe dago.

Sorgailu hauen alde onak:

- ▷ Oso sinpleak dira, bere fabrikazio prozesua eta muntaia merkeagoa da iman iraunkorra erabilita.

- ▷ Eskuilak erabiltzen ez dutenez ez dute mantenurik behar.
- ▷ Mekanikoki sendoagoak dira, kitzikapen sistematik ez dutelako.
- ▷ Kitzikapena kenduta, energiaren %20a aurreztu daiteke

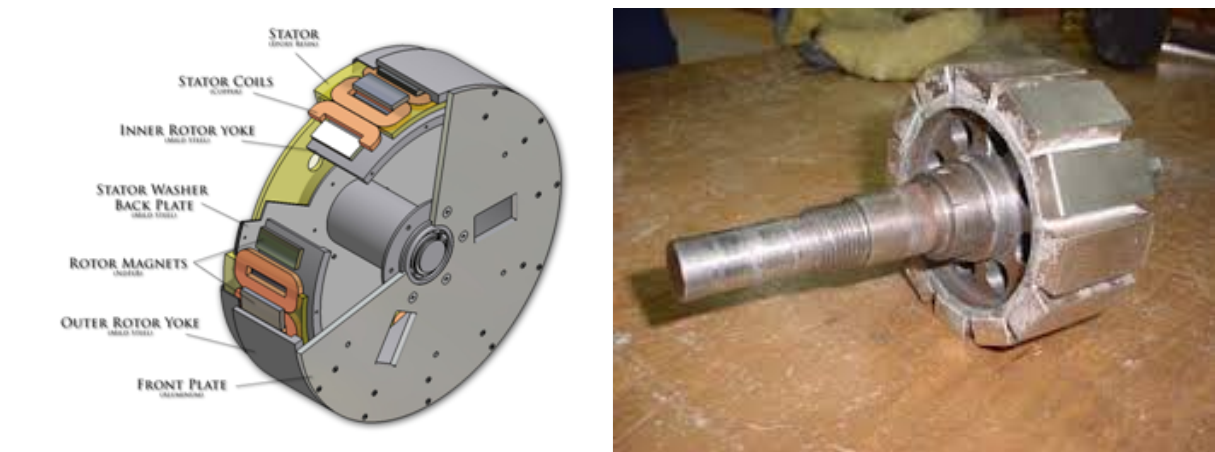
Erabiltzen diren imanak ferromagnetikoak edo neodimiozkoak izan daitezke, azken hauek ahalmen magnetiko handiagoa dutenez gehiago erabiltzen ari dira azken urteetan. Kasu batzutan, eta estatoreko harilkatuetan burdinezko nukleoak erabiltzen badira, eremu magnetikoen ondorioz indar-parea errotorean sortzen da eta horrek aerosorgailuari abiadura txikitzen jartzen dio.

Sorgailu hauek sortzen duten tentsioa ia sinusoidal da, imanak daramatzan errotoreari ematen zaion irtenbide konstruktiboa eta iman kopuruari esker. Irteerako seinalearen maila armonikoa moldatu daiteke iman kopurua eta kokapenaren bitartez.

Iman iraunkorreko sorgailu motak:

Iman iraunkorreko sorgailu batean imanak mugitzen dira harilkatuen aurretik, normalean mugimendu birakarian, eta biratze abiadura batean. Biraketa ardatzaren arabera, bi motatako sorgailuak daude:

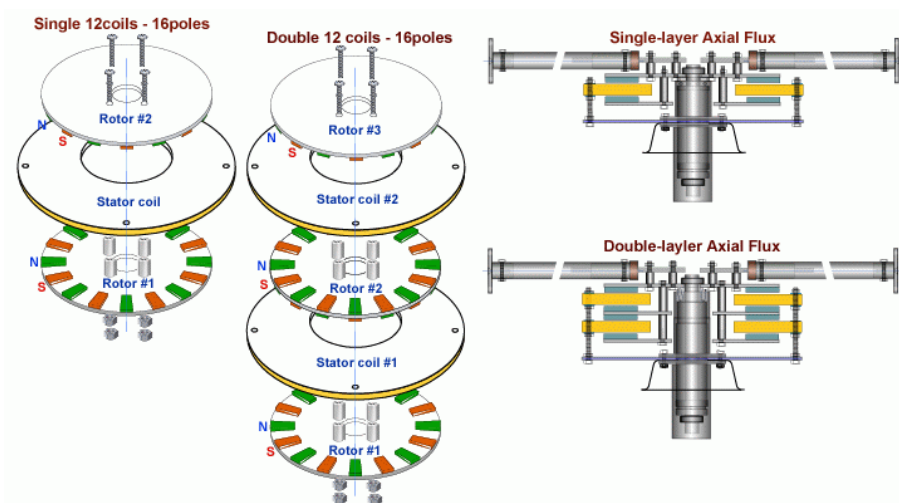
- ▷ **Fluxu erradialekoa:** biraketa ardatza imanen eremu magnetikoaren fluxuarekiko perpendikularra bada. Imanak bere ardatzaren inguruan biraka dagoen zilindro baten alboko aldean jartzen dira, ukitzaila. Imanen eremu magnetikoaren fluxua biraketa ardatzarekiko perpendikularra da, beraz, erradioaren norabidean doaz (1.24. irudia).



Irudia 1.24.: Fluxu erradialeko sorgailuak.

- ▷ **Fluxu axialekoa:** biraketa ardatza imanen eremu magnetikoaren fluxuarekiko paraleloa bada. Imanak, diskoren zentrotik pasatzen den ardatz baten inguruan biratzen duen burdinezko disko baten gainean kokatzen dira, itsatsita. Imanek N espira dituen harila multzo baten aurretik biratzen dute. Estatoreko harilen konexioaren arabera tentsioa monofasikoa edo fase anitzekoa izango da. Beraz

sorgailu hauetan imanen eremu magnetikoaren fluxua biraketa ardatzarekiko paraleloak dira, axiala.(1.25. irudia)



Irudia 1.25.: Fluxu axialeko sorgailuaren eskema.

Eraikuntza prozesuari erreparatzen badiogu, askoz konplexuagoak dira erradialak, nahiz eta funtzionamenduan eraginkorragoak izan. Honegatik, gure kasuan fluxu axialeko sorgailua eraikitzea erabaki da.

Iman iraunkorreko sorgailuaren funtzionamendua

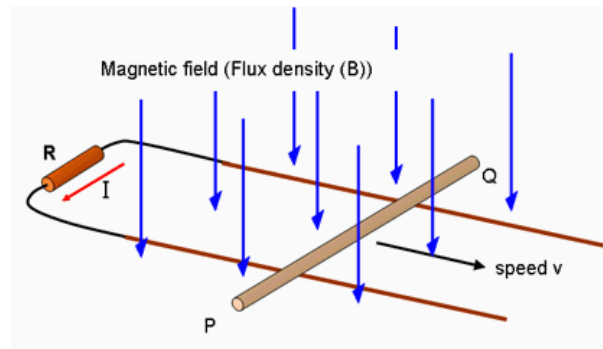
Iman iraunkorreko sorgailuaren funtzionamendua azaltzeko, finko dauden harila batzuen aurretik mugitzen diren imanek sortzen duten indar elektroeragilea azertu behar da. Indukzio elektrikoaren fenomeno honi gehien aplikatzen zaion legea Faraday-rena izan arren, Lorentz formularen bitartez errazago uler daiteke sorgailuetan ematen den indukzio fenomeno hau.

Faraday-ren legea kontuan hartzen du bere baitan indar elektroeragilea indutitzen den espira osoa, eta ekuazio matematikoa espiraren azalera osoari aplikatzen zaio. Lorentz-en formula, aldiz, harila osatzen duten harietara soilik aplikatzen zaie.

Lorentz-en formula Eremu magnetiko estatiko batean mugitzen ari den eroale zati bat irudikatzen bada (1.26. irudia):

Ondoko irudian PQ eroale zatia eskuin aldera mugitzen ari da, iman baten hego poloaren gainetik, fluxu magnetikoaren norabidea goitik behera, hariarekiko perpendikularra. Egoera honetan Lorentz-en adierazpenak zera dio:

$$\varepsilon = v.B.L \quad (1.12)$$



Irudia 1.26.: Lorentz: eroale zatia eremu magnetiko batean

ε = Eroalean induzitutako indar elektroeragilea

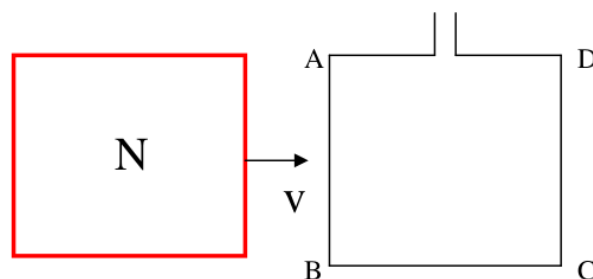
v = eroalearen abiadura

B = Eremu magnetikoaren indukzio magnetikoa

L = eroale zatiaren luzera

Induzitutako ε -ren polo positiboa Q muturra da eta polo negatiboa P muturra. Iman iraunkorreko sorgailu batean harila osatzen duten eroaleak ez dira mugitzen. Mota honetako sorgailuetan harilak finko daude estatorean eta mugitzen direnak imanak direlarik. Baina azalpen teoriko emateko egoera antzekoa da imana mugitzea eta eroalea finko, garrantzitsuena beraien arteko mugimendu erlatiboa baita. Hori bai, eroalean polaritatea mantentzeko imanaren mugimenduaren norabidea kontrakoa izan behar du.

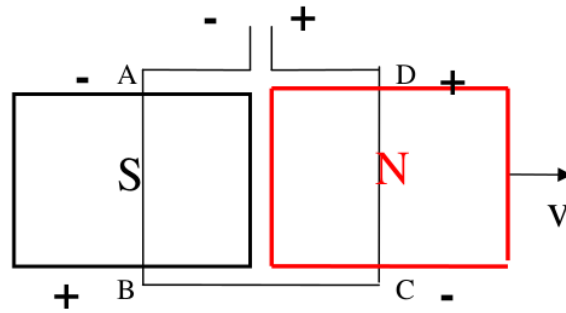
Azalpenarekin jarraitzeko, sorgailuko imana eta espira karratuak direla kontsideratuko da. Ondoko irudia aztertzen bada, imana eskuin aldera mugitzen da eta espira ireki baten azpitik pasatzen delarik. Espira beraien artean konektatutako lau zatiz osatuta dago: bi bertikal eta beste biak horizontalak. Imanaren altuera espirarena baino zertxobait txikiagoa da, eta imanaren zabalera espiraren berdina. Imana zati bertikalen aurretik pasatzerakoan (AB eta CD zatiak), indar elektroeragile bat induzituko du eroaletan, eta polaritatea $+=A,D$ eta $-=B,C$ izango delarik. (1.27.irudia)



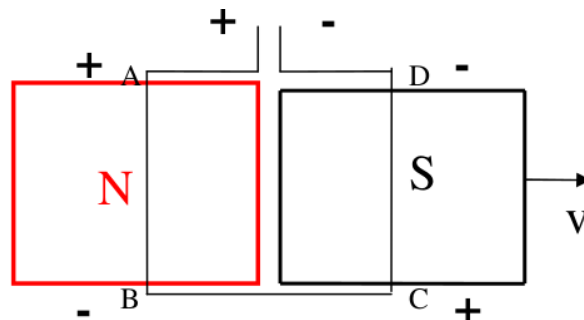
Irudia 1.27.: Imanaren mugimendua harilarekiko

Azter ditzagun mugimenduan sortzen diren kokapen ezberdinak:

- ▷ **Lehen kokapena** (1.28. irudia): Imana espiraren AB aldetik pasatzen ari da. Polaritatea $+=A$ eta $-=B$. Bestetik, CD aldean ez da tentsiorik induzitzen. Espira

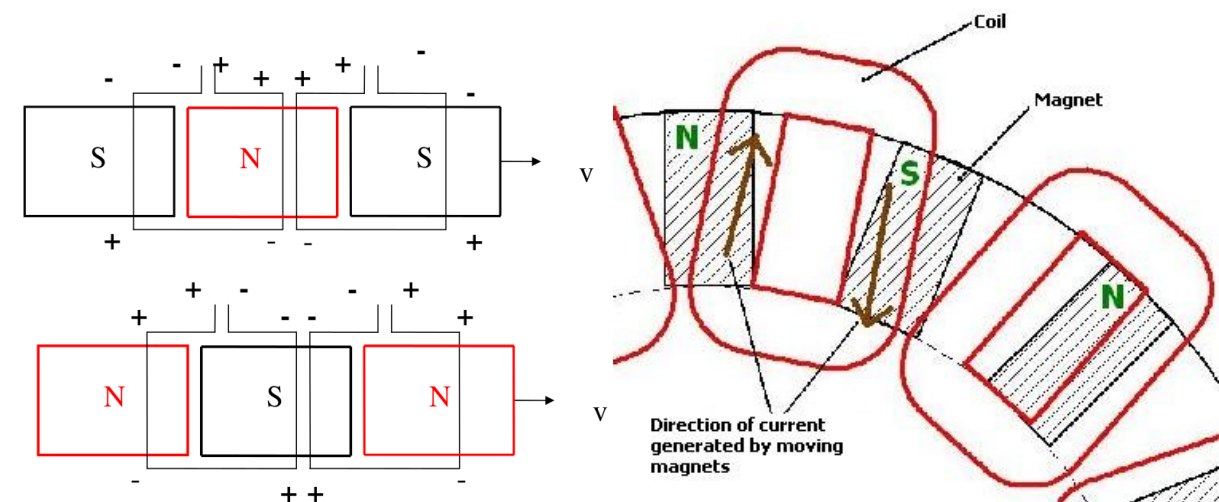


Irudia 1.30.: Imanaren mugimendua espiraren aurrean 3



Irudia 1.31.: Bi imanen mugimendua espira baten aurretik.

Espiren arteko distantzia eta imanen artekoa berdina da. Ikusten denez elkarren ondoko espirek kontrako polaritatea dute.



Irudia 1.32.: Imanen ilara bi espiren aurretik pasatzen.

Espira batean induzitutako indar elektroeragilea (iee):

Iman iraunkorreko sorgailu batean imanak higidura birakari uniformearen mugitzen dira harilen aurrean. Iman kopurua beti da bikoitia eta polo magnetikoak ipar-hegoa txandakatuta dituzte. Egoera honetan, lehen ikusi den bezala, harila batean induzitutako iee, iman bakar batek induzitutakoaren bikoitza da. Espiraren alde bertikal bakoitzari

aurkako poloak dituzten iman bakoitzak eragiten diolako.

$$\varepsilon = 2v.B.L \quad (1.13)$$

Abiadura angeluarra eta lineala erlazionatzen dituen adierazpena

$$v = \omega.r \quad (1.14)$$

Aurreko 1.13ekuazioan ordezkatzeko bada

$$\varepsilon = 2.\omega.r.B.L \quad (1.15)$$

lee hau alternoa denez, bere balio efikaza lortzeko $\sqrt{2}$ -z zatitu beharko da.

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{2}}2.\omega.r.B.L \quad (1.16)$$

Eta abiadura rpm (bira minutuko) unitatetan emanda baldin badaukagu, abiadura angeluarra neurtzeko

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \quad (1.17)$$

Azkenik ondoko adierazpena lortzen da espira batean induzitutako iew neurtzeko:

$$\varepsilon = 0,148.\omega.r.B.L \quad (1.18)$$

Eta N espiraz osatutako harila batean iew kalkulatzeko

$$\varepsilon = 0,148.\omega.r.B.N.L \quad (1.19)$$

r = imanaren biraketa erradioa

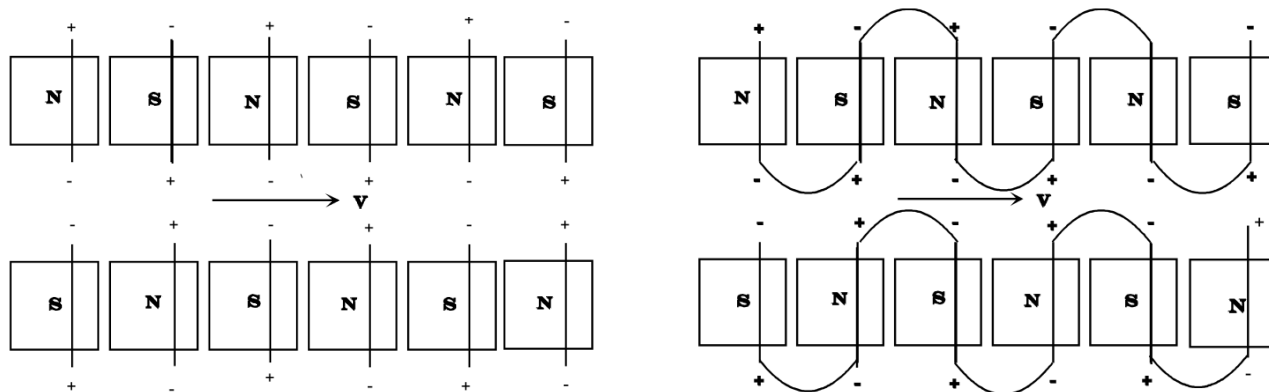
B = harilen alboetan eragiten duen eremu magnetikoaren fluxua

N = Harilak dituen eroale buelta kopurua

L =harilaren luzera imanaren mugimenduarekiko perpendikularra

Paraleloak diren eroaleetan induzitzen den iew. Demagun baditugula tamaina bereko ilaran eta distantziakide kokatuta dauden imanak, poloa txandakatuta ditzutela, eta mugitzen direla distantziakide eta paralelo kokatuta dauden eroale multzo baten aurretik.

Lorentz-en legearen arabera, eroale zati bakoitzaren polaritatea 1.33. irudian agertzen da. Eta polaritate horrek aukera ematen du eroale zatiak seriean konektatzeko. Beraz



Irudia 1.33.: Imanak eroale multzoaren aurretik

eroale multzo osoaren muturretan induzitutako indar elektroeragilea, eroale zati bakoitzean induzitutakoen batura izango da, eta berdina denez zati bakoitzean.

$$\varepsilon = n.v.B.l$$

Eta aurreko kasuan bezala frogapen bera jarraitzen bada, eroale segmentu guztietan induzitutako indar elektroeragilearen balio efikazaren formula ondoko ateratzen da.

$$\varepsilon = 0,074.\omega.r.B.n.l \quad (1.20)$$

r = imanen biraketa erradioa

B = harilen alboetan eragiten duen eremu magnetikoaren fluxua

n = segmentu kopurua

l =segmentu baten luzera

1.7.9. Aerosorgailu baten funtzionamenduaren oinarri fisikoa

Iman iraunkorren aerosorgailu baten funtzionamendu fisikoa, beste sistema fisiko asko bezala, ekuazio diferentzial baten bitartez azal daiteke, eta ekuazio honen soluzio partikularra, sistemaren soluzio egonkorra edo orekako da.

Sorgailu elektriko batean bi indar multzok eragiten dute: azeleratzen duten indarrek eta galgatze duten indarrek. Sorgailua mugimendu birakaria duen sistema fisiko bat denez, indarren ordezt indar, bira arazten edo galgatzen duten indarren momentuak aztertzen dira. Aerosorgailuaren mugimendua gidatzen duen ekuazio diferentziala honakoa da 1.21. ekuazioan:

$$M_a - M_f = I.\alpha \quad (1.21)$$

M_a =Sorgailua azeleratzen duten indarren momentua da (azelerazio momentua)

M_f =Sorgailua galgatzen duten indarren momentuak (galgatze momentua)

I =Errotorearen inertzia-momentua

α = Errotorearen azelerazio angeluarra

Ma eta M_f konstanteak balira, sorgailua mugimendu azeleratua hartuko luke eta abiadura angeluarra infinitura joko luke, baino honelako portaera ez da posible fisikoki. Baina M_f (galgatze momentua) α abiadura angeluarraren menpeko funtzio lineala denez, sistema oreka puntu batera ailegatzen da, eta egoera horretan abiadura angeluarrak balio konstantea hartzen du.

Ondoren aerosorgailuaren azterketa egingo da hiru egoera desberdinetan:

- Edozein kargatik deskonektatutako aerosorgailuak
- Karga erresistibo batera konektatutako aerosorgailuak
- Bateria batera konektatutako aerosorgailuak

Egoera bakoitzean orekako abiadura angeluarraren balioa aldatu egiten da tartean sartzen diren frenatze indarren arabera.

Edozein kargatik deskonektatutako aerosorgailuak.

Aerosorgailua mugitzen duen indarra, helizeko besoen kontra jotzen duen haizearen indarra da, eta hau sistema horren geometriaren menpekoa da. Eta galgatzen duen indarrak, sistema eolikoak haizearekin sortzen duen marruskadura eta errotoreko osagai mugikorren marruskadura (ardatzak, errodamenduak,). Egoera honetan, galgatze momentua M_f abiadura angeluarrarekiko proportzionala da.

$$M_f = k_R \cdot \omega \quad (1.22)$$

k_R = sorgailuaren atal mugikorren geometriaren menpeko konstantea da.

Aurreko 1.211.22 ekuazioak konbinatuz ondorengo ekuazio diferentziala lortuko da:

$$I \cdot \frac{d\omega}{dt} + k_R \cdot \omega = M_a \quad (1.23)$$

eta emaitza

$$\omega = \frac{M_a}{k_R} (1 - e^{-\frac{k_R}{I} \cdot t}) \quad (1.24)$$

Denbora tarte handia pasa ondoren, sistema oreka batera ailegatzen da eta abiadura angeluarrak balio konstantea hartzen du.

$$\omega = \frac{M_a}{k_R} \quad (1.25)$$

ω = abiadura angeluarra

M_a =Sorgailua azeleratzen duten indarren momentua da (azelerazio momentua)

k_R = sorgailuaren atal mugikorren geometriaren menpeko konstantea da.

Karga erresistibo batera konektatutako aerosorgailuak.

Egoera honetan,, balaztatze indarra bi zatiz osatuta dago, alde batetik sistema eoliko eta errodamenduen marruskadurak sortutakoa eta bestea aerosorgailuko iman eta harilkatuan induzitutako korrontearen artean sortutako indarra. Galgatze indar biek galgatze momentuak eragiten dituzte, eta hauek abiadura angeluarrarekiko proportzionalak dira.

$$M_f = M_{Roz} + M_A = k_R \cdot \omega + k_A \cdot \omega = (k_R + k_A) \cdot \omega \quad (1.26)$$

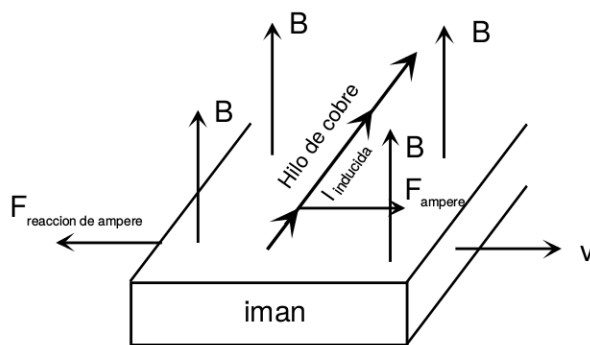
k_A = Abiadura angeluarra eta Ampere indarraren ondoriozko galgatze momentuaren arteko proportzionaltasun konstantea da.

Induzitutako korrontearen ondorioz gertatutako galgatzea, **Lenz** printzipioaren araberakoa da: "Korronte induzituek sortzen dituzten eremu magnetikoek korronte induzitu horien eragile diren fluxu-aldaketei aurka egiten diete". Fluxu magnetikoaren aldakuntza hau harilen aurretik biratzen duten imanen mugimenduaren ondorioa da. Sorgailuen hariletan induzitutako korronteak sortu ondoren, hauek eta imanen arteko indarra sortzen da. Indar hauek, korronteen arteko edo eremu magnetikoetan barnean dauden korronteen gaineko Ampere-ren indarrak dira hain zuzen ere. Gero ikusiko denez, indar honek imanen mugimenduaren kontra egiten du eta horregatik galgatze indarra da, eta errotorearen abiadura angeluarrarekiko proportzionala da.

Horregatik 1.26. ekuazioan k_A konstantea abiadura angeluarra eta Ampereren indarraren ondoriozko galgatze momentuaren arteko proportzionaltasun konstantea da. 1.26. ekuazioa 1.21 ekuazioan ordezkatzuz eta ekuazio diferentziala ebatzen bada, ondorengo adierazpena lortzen da abiadura angeluarra oreka lortzen duenerako:

$$\omega = \frac{M_a}{k_R + k_A} \quad (1.27)$$

Eta ikusten denez, 1.27 ekuazioa hasierako 1.25 ekuazioa baino txikiagoa da zenbakiz (izendatzailea handiagoa delako), hau da, aerosorgailu baten biraketa abiadura txikiagoa da karga bati lotuta dagoenean, libre konektatu gabe dagoen egoerarekin konparatuta. Hau, beste era batean, energiaren kontserbazioaren legearen bitartez azal daiteke, hau da:



Irudia 1.34.: Lenz legea

aerosorgailu bat libreki biratzen duenean abiadura handiagoa hartzen du karga bati lotuta dagoenean baino, haizeak sortzen duen energia zinetikoaren zati bat energia elektrikoa transformatzen delako, eta ondorioz, bere biraketa abiadura murriztu egiten da (sistema eolikoaren gaineko haizearen indarra konstantea mantentzen dela pentsatuz). Libreki biratzen duenean, haizearen energia guztia energia zinetikoa bilakatzen da, karga bati lotuta badago, haizearen energiaren zati bat energia elektrikoa bihurtzen da

k_A konstantearen adierazpen matematikoa lortzeko.

Aerosorgailu baten hariletatik korrantea zirkulatzen duenean, imanen eremu magnetikoen ondorioz, berehala sortzen dira eroaleen gaineko indarrak. Haril hauek estatoreari finko lotuta daudenez, indar hauek erreakzioak sortzen dituzte imanen gainean (Newtonen akzio-erreakzio legea). Beste era batean azaldu daiteke, estatoreko hariletan induzitutako korranteek sortutako eremu magnetikoen indarrak errotoreko imanen gainean eragindako indarrak. Imanen mugimendua galgatzeko duen indar bat sortzen da, eta indar hau sorgailuak kanpoko karga bati ematen dion korrante elektrikoaren intentsitatearen arabera da. Indar kontra eragile honen adierazpen matematikoa, gutxi gorabeherakoa, eremu magnetiko batean dagoen korrante baten gaineko indarraren formularen bidez eman daiteke (Ampere-ren indarra).

Ondoko 1.34. irudian ikus daiteke kobrezko hari baten aurretik v abiaduraz eskuin aldera mugitzen den imana. Imanaren ipar poloa gora begira dago. Harian induzitutako korrantearen norabidea Lorentz-en formula aplikatuz lortzen da, eta barrura doa. Imanak induzitutako korrantearen gainean indarra eragiten du eskuinerantz, baino kobrezko hariak finko daudenez (estatoreko hariletan) imanaren gainean erreakzioa agertzen da, eta ezkerrean mugitzera eragiten dio.

Korrante baten gaineko Amperearen indarra ondoko adierazpen arabera:

$$F_A = I.L.B \quad (1.28)$$

Baino hari hau sorgailuko harilen parte da, eta harila N hariz osatuta egongo da, L luzerakoak. Beraz, N induzitutako korronteak izango ditu harilak, eta indarra honakoa izango litzateke.

$$F_A = I.N.L.B \quad (1.29)$$

Sorgailuko estatorean batean N_{ag} harila daude, eta guztietatik korrontea zirkulatuko da, beraz Ampereren indarra azkenik

$$F_A = N_{ag}.I.N.L.B \quad (1.30)$$

Beste alde batetik, sorgailuak emandako korrontea, Ohm legearen arabera

$$I_g = \frac{\varepsilon}{R_L + r_g} \quad (1.31)$$

ε = sorgailuan induzitutako indar elektroeragilea da.

R_L = Sorgailuari konektatutako kargaren erresistentzia

r_G = Aerosorgailuko harilkatuaren erresistentzia

Korrontearen intentsitate hau, sorgailutik atera eta kargan zehar igarotzen da. Normalean sorgailuak trifasikoak direnez, kobrezko N harietatik pasatzen den korrontea ez da sorgailutik aterako dena, faseak izar moduan badaude, hari bakoitzetik pasako den korrontea, sorgailutik ateratzen den korronte osoaren herena izango da, beraz

$$I = \frac{1}{3} \cdot \frac{\varepsilon}{R_L + r_g} = \frac{\varepsilon}{3R_L + r_f} \quad (1.32)$$

r_f = Aerosorgailuaren fase bateko harilkatuaren erresistentzia

Sorgailuan induzitutako indar elektroeragilea, honen geometriaren menpekoa izango da. Fluxi erradialeko sorgailu batean konprobatuta dago estatoreko harila batean induzitutako indar elektroeragilearen adierazpen matematikoa (gutxi gorabeherako), Lorentz-en formula erabiliz, honakoa dela:

$$\varepsilon = 1,41.N.L.B.v = 1,41.N.L.B.\omega.r_a \quad (1.33)$$

N = harilaren espira kopurua

L = Harilaren mugimenduarekiko elkarzut den aldearen luzera

ω = Errotorearen abiadura angeluarra

r_a = estatorearen erradioa

Sorgailua trifasikoa bada eta N_b harila baditu fase bakoitzean, fase bakoitzean eragindako potentziala honakoa izango da:

$$\varepsilon = 1,41.N_b.L.B.\omega.r_a \quad (1.34)$$

.1.34ekuazioa 1.32. ekuazioan ordezkatzten bada eta gero emaitza .1.30. ekuazioan, honakoa lortuko da:

$$F_A = \frac{1,41.N_{ag}.N_b.(N.L.B)^2.r_a}{R_T}.\omega \quad (1.35)$$

$$R_T = 3R_L + r_f$$

Errotorea biratzen ari denez, Ampere-ren indarrak momentua sortuko du

$$M_A = F_A.r_a \quad (1.36)$$

Beraz

$$M_A = \frac{1,41.N_{ag}.N_b.(r_a.N.L.B)^2}{R_T}.\omega \quad (1.37)$$

eta k_A bakantzen bada.

$$k_A = \frac{1,41.N_{ag}.N_b.(r_a.N.L.B)^2}{R_T} \quad (1.38)$$

ordezkatzten bada 1.38. ekuazioa orekako abiadura angeluarraren 1.25. ekuazioan honakoa lortuko da:

$$\omega = \frac{M_a}{k_R + \left(\frac{1,41.N_{ag}.N_b.(r_a.N.L.B)^2}{R_T}\right)} \quad (1.39)$$

R_L Kargaren erresistentzia oso handia baldin bada, infiniturantz joz, k_A konstantearen balioa oso txikia da, 0-rantz jotzen duela. Kasu honetan sorgailuak konektatutako kargarik izango ez balu bezalako jokaera dauka, eta abiadura angeluar maximoan biratzen du.

R_L kargaren erresistentzia oso txikia bada, 0-rantz joz, k_A konstantearen balioa oso handia da, infiniturantz jotzen duela, eta orekako abiadura angeluarra oso txikia da. Honegatik, aerosorgailua galgatzeko, irteerako kableak zirkuitulaburrean jarri behar dira ($R_L=0$).

Bateria batera konektatutako aerosorgailuak

Aurreko kasuan bezala demostratu dezakegu aerosorgailuaren orekako abiadura angeluarraren formula honakoa da

$$\omega = \frac{M_a + K_L \cdot \varepsilon_b}{K_R + K_A} \quad (1.40)$$

Lortzen den adierazpen matematikoa 1.25. ekuazioan lortutakoaren antzekoa da, baina 1.40. ekuazioan izendatzaileko balio numerikoa handiagoa da 1.25. ekuazioan baino, beraz bateria bati lotutako sorgailu baten abiadura handiagoa da erresistentzia bati konektatuta egotearekin konparatuta.

1.7.10. MAGNETISMOA

Bere inguruan eremu magnetiko iraunkorra sorrarazten duen gorputza da imana, normalean material ferromagnetikoz osatua. Eta, iman iraunkorra ohiko kondizioetan magnetizazioa mugagabe mantentzen duen material ferromagnetikoari deitzen zaio

Jokaera honen azalpena, materialen barruan dauden elektroi libreek sortutako fluxu magnetikoen elkar-ekintzan dago, normalean bere efektu globala baliogabeturik dagoela, zoriz desordenatuta daudelako materialaren barruan. Fluxu hauei dipoloren momentu magnetikoa deitzen zaie. Iturri magnetiko baten intentsitatea neurtzeko balio duen magnitude bektoriala da momentu magnetikoa.

Momentu magnetiko hauek erakarpen eta aldarapen indarra sortzen dute materialaren inguruan, eta honi eremu magnetikoa deitzen zaio. Eremu magnetiko (H) honen eraginpean material bat jartzerakoan hiru egoera eman daitezke orokorki:

- ▷ Materiala, bere barneko dipoloen eraginez, era ahul eta negatibo batean batean magnetizatzen da (aplikatutako eremu magnetikoaren kontra). Material hauei diamagnetikoak deitzen zaie.
- ▷ Materiala era ahul eta positiboan magnetizatzen da (eremu magnetikoa indartuz). Hauek material paramagnetikoak dira.
- ▷ Materiala era bizi eta positiboan magnetizatzen da. Hauek material ferromagnetikoa dira, burdin gozoaren kasu adibidez.

Materialen magnetizazio kapazitatea neurtu ahal izateko iragazkortasun magnetikoa definitu zen (μ). Hau materialaren baitan induzitzen den eremu magnetiko osoa (indukzio magnetikoa edo fluxu magnetikoaren dentsitatea (β) eta aplikatutako eremu magnetikoa (kitzikapen magnetikoa edo eremu magnetikoa (H)). Matematikoki honela adierazten da:

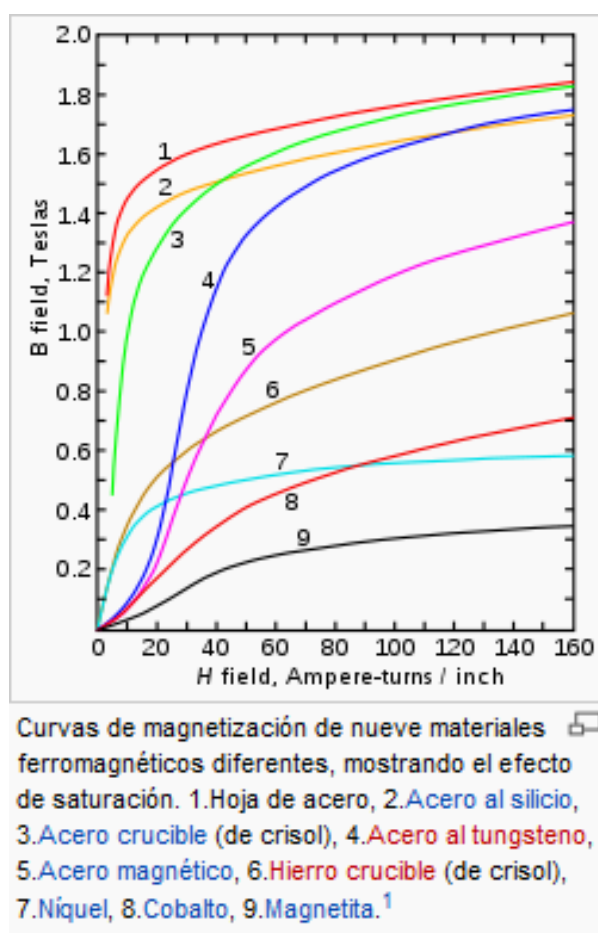
$$\beta = \mu \cdot H \quad (1.41)$$

μ , Hutsaren iragazkortasun magnetikoa = $\mu_0=4.\pi.10^{-7}$ (W_b/A.m)

H = Eremu magnetikoa, Ampere metroko (A/m) edo Oersted (Oe)

B = Eremu magnetikoa, Gauss (G) edo Tesla (T)

Ferromagnetikoak, eroale magnetiko onak direnez, zirkuitu magnetikoak eraikitzeko erabiltzen dira, hala nola harilen nukleoak eta makina elektriko mota guztietako zirkuitu magnetikoak. Material ferromagnetikoen iragazkortasun magnetiko erlatiboa oso handia izaten da, 1 baino askoz handiagoa. Adibidez, nikelarena $\mu = 300$, edo burdina gozoarena $\mu = 120.000$. Zenbait metalek (ez denek) eta burdinaren familiako konposatu eta aleazioek osatzen dute multzo hau. Substantzia gehienek, ordea, iragazkortasun erlatiboa 1etik oso hurbil dute. 1 baino zerbait handiagoa dutenak paramagnetikoak dira, eta zertxobait txikiagoa dutenak, diamagnetikoak. Material bat imantatu ondoren zenbat eta kapazitate handiagoa izan magnetismoa mantentzeko hobe.



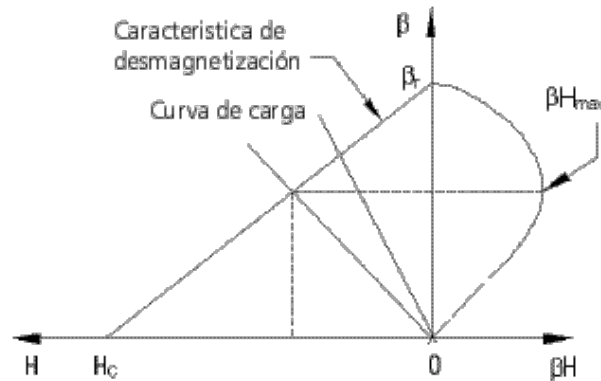
Irudia 1.35.: Zenbait materialen magnetizazio kurba.

Materialen iragazkortasuna ez da konstantea izaten, eta indukzio-mailaren arabera aldatu egiten da.

Eremu magnetikoaren (H) intentsitate aldakor baten eraginpean material bat jartzen denean, indukzio magnetikoa ere aldatzen doa, baina erlazio hori (B - H) ez da konstantea

izaten. Erlazio hori magnetizazio kurba izenarekin ezagutzen da.

Imanen ezaugarri nagusia bere B-H kurba da, eta bertan bere $(BH)_{\max}$ lor dezakegu. Parametro hau, imanak eman dezakeen energia mailarik handiena ematen du, imanaren indarra erakusten du. Zenbat eta handiagoa izan $(BH)_{\max}$, orduan eta material gutxiago beharko da fluxu jakin bat lortzeko. (1.36. irudia)



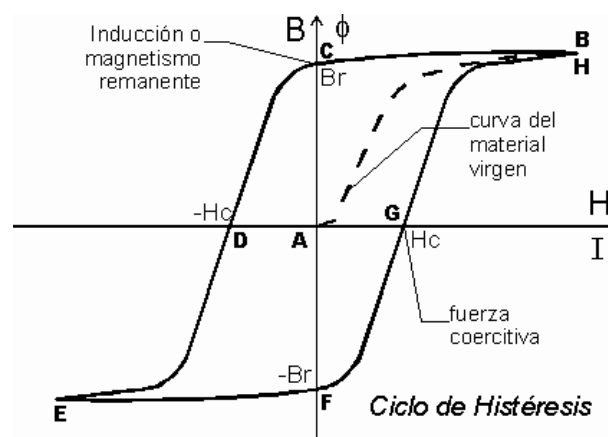
Irudia 1.36.: Iman baten B-H kurba eta beste parametroak.

Imanen beste parametro garrantzitsua bere koertizibitatea da (H_{ci} , H_c). Parametro hauek materiala desmagnetizatzeko duen erresistentzia adierazten dute. Hauek oso argi ikusten dira histeresi kurbaren bitartez, bertan material baten magnetizazio eta desmagnetizazio prozesua nola ematen den aztertu dezakegu.(1.37. irudia).

Propietate hauen arabera imanak egiteko material ezberdinak erabiltzen dira, orain erabilienak ferritak edo material ferrikoak izan dira. Azken urteetan lur arraroak erabiltzen hasi dira, dituzten ezaugarriengatik: Aluminioa-Nikela-Kobaltoa (AlNiCo), Samario-Cobalto(SmCo) eta Neodimio-Hierro-Boro (NdFeBo).

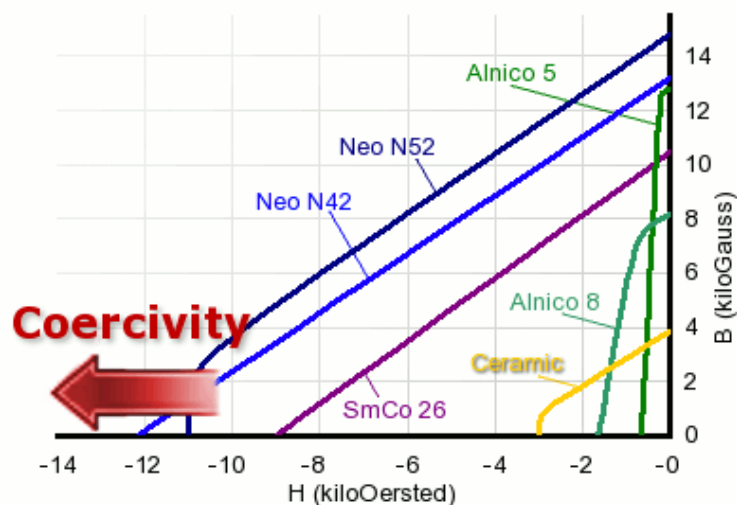
Lur arraroen bitartez erremanentzia (hondar-magnetismoa duen gorputzaren ezaugarria.) eta koertizibitate handiko imanak lortzen dira.

Baino lur arraroen imanen erabilerak badu bere alde iluna, iman hauek egiteko *lur arraroak*



Irudia 1.37.: Material baten histeresi kurba.

Permanent Magnet Demagnetization Curves



Irudia 1.38.: Lur arrarozko imanen magnetizazio kurbak

deitutakoak erabiltzen dira. Eta mineral hauen ustiapenak bi arazo sortzen ditu: batetik, bere ekoizpena munduan leku gutxitan egiten dela eta oso prozesu konplexua izaten dela, energia kontsumo handia sortuz. Eta bestetik, oso kantitate txikitik ematen direla planetan, eta azken urteetan haize-sorgailu erraldoiak egiteko dagoen eskakizun maila asko igo da. Guzti honegatik, askotan material hauek ustiatzen diren lekuetan arazo ekologiko larriak ematen dira, bertako biztanleei kalte izugarriak sortuz. Beraz, iman berezi hauen erabilera zentzuz egin behar da.

2. SORGAILUAREN KALKULUAK ETA DISEINUA

2.1. SARRERA

2.1.1. HARTUTAKO IRTENBIDEA

Atal honetan sorgailuaren diseinua egiteko egindako kalkuluak azalduko dira. Sorgailua aukeratzeko, Savonius turbina bati lotuta egongo dela kontuan hartu da, baita hasierako zehaztapen batzuk.

Lehenago ikusienez, iman iraunkorreko sorgailuek abantailak dituzte indukzio-sorgailuekin konparatuta: eraikuntza prozesua sinpleagoa da, material eta teknika ere ez dira konplexuak, iman iraunkorrekoek eraginkortasun handiagoa dute eta tamaina (pisua) txikiagoa. Horregatik, lan honetan iman iraunkorreko sorgailua egitea erabaki da.

Eta iman iraunkorrekoen artean, fluxu erradiala eta axialekoak daude. Fluxu erradialeko sorgailuen kasuan eraikuntza prozesua askoz zailagoa suertatzen da, besteekin konparatuta. Beraz azkenik F. axialekoa egitea erabaki da.

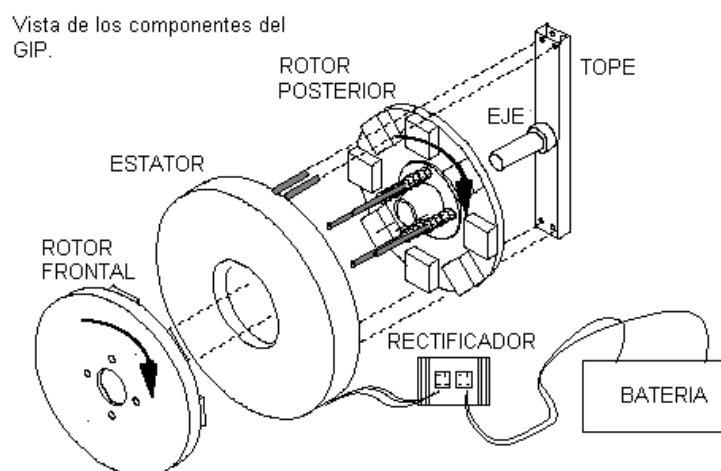
Iman iraunkorreko fluxu axialeko sorgailuen onurak honakoak dira:

- ▷ Biraketa abiadura baxua (polo eta harila kopuruaren arabera laneko abiadura egokitu daiteke).
- ▷ Iman iraunkorrak direnez, ez da kitzikapen sistema sortu behar.
- ▷ Sorgailu tradizionalak baino pisu txikiagoa dauka, beraz, potentzia/pisua erlazio handia dauka, errendimendu maila berdinerako.
- ▷ Eraikuntza prozesu eta erabilitako material sinpleak erabiltzen ditu, oso egokia DIY filosofiaren arabera egiteko.
- ▷ Potentzia egokitu daiteke harila eta imanen disko kopurua egokituz.

Gure kasuan, fluxu axialeko sorgailuen tipologia guztien artean, errotore bikoitzekoa aukeratu da: imanak dituen bi burdinezko errotore, eta harilak finko dauden estatorea erdian dela. Bi errotoreak ardatz bati lotuta daude eta elkarrekin biratzen dute (2.1 . irudia).

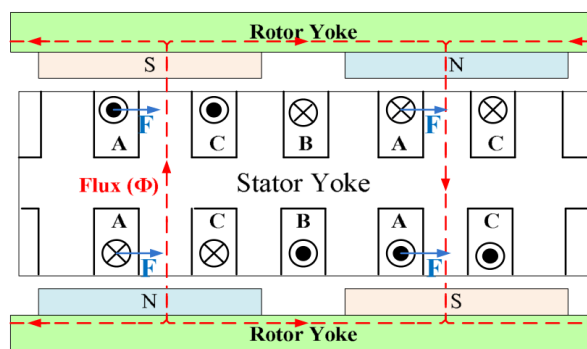
Bi errotoreko konfigurazio honek abantaila dauka estatorean sortzen den indarra handiagoa delako, gainera, topologia honek dispersioko induktantzia minimizatzen du. Hurrekoaz gain, artekarik gabeko estatorea erabiltzerakoan, artekako indar-parea bera eta honek sortutako dardara desagertzea lortzen da. Beste aldetik harilek burdinezko nukleorik erabiltzen ez dutenez histeresi eta Foucault-en korronteen galerak murrizten ditu.

Iman iraunkorrek burdinezko errotoreen gainazalaren gainean kokatuta daude, harilaren aldean, kopuru berean. Aurrez aurreko imanek kontrako polaritatean orientatuta daude. Era honetan fluxua iman baten ipar polotik bestearen hegora pasatzen da estatoreko harilak zeharkatuz, ardatza biraka ari den bitartean. (2.2. irudia)



Irudia 2.1.: Iman iraunkorreko fluxu axialeko sorgailu baten zatiak.

Azkenik, harilen boretan tentsio elektrikoa induzitzen da, eta harilen konexioaren arabera tentsio balio ezberdinak lortuko dira.



Irudia 2.2.: Imanak eta eremu magnetikoa.

2.2. HAIZEAREN DATUAK

Haizeak eman dezakeen potentzia kalkulatzeko, lehendabizi haizearen parametroak lortu beharko ditugu. Aerosorgailua kokatuta egongo den lekuren arabera, haizearen parametroak aldatu egingo dira, beraz beharrezkoa da tokiko haizearen datuak jasotzea.

Normalean aerosorgailua joango den lekuan haizearen parametroak neurtzeko gailuak kokatzen dira denbora tarte batean (gutxienez urtebete batean) eta jasotako datuen analisia egin ondoren batezbesteko abiadura finkatzen da.

Gure kasuan, ez da daturik jasoko, eta jadanik instalatuta dauden estazio meteorologikoen datuotaz baliatuko gara. Horretarako EUSKALMET jasotako datuetan oinarrituko gara (Ikus A1. ERANSKINA)

Aerosorgailuaren kokapena: BILBON,

- ▷ Latitudea: 43.2627 (43° 15' N)
- ▷ Longituda: -2.9253 (2° 55' O)

Haizearen abiadura izugarriko eragina dute orografiak, altitudeak, haize nagusiekiko zonak duen orientazioak, beste mendilerroek egiten duten itzalak, lurrazalaren zimurtasuna areagotzen duen landaretzak eta, beraz, haize egonkorra eta energetikoki aprobetxagarria lor daitekeen kotak. Faktore horiek guztiak kontuan izan beharrak asko zailtzen du ziur zehaztea haizearen abiadura eta energia baliagarriak, EAEa bezain lur heterogeneoan.

Dena den, egindako neurketei esker, doitasun dezentez zehaztu daiteke aprobetxamendu eolikorako zonarik egokienak zein diren; zona kaskarragoetan ere, aldeko gerturatzeak egin daitezke. Aurreko zonifikazioari jarraiki, batez besteko abiadura hauek har daitezke aintzat:

- **Kantabriar zonaldean: 5,5-7,7 m/s**

Kasu honetan kontuan hartzen bada gure kokapena hirian egongo dela eta bestelako parametroak, erabiliko ditugun haziaren abiadura datuak hauek izango dira

- ▷ $v_{konet}=4 \text{ m/s}$ = Haizearen abiadura honetan sorgailuak zehaztutako boltajea ematen hasiko da. (v_{cut-in})
- ▷ $v_{nom}=10 \text{ m/s}$ = Haizearen abiadura honetan sorgailuak potentzia maximoa emango du (v_{nom})

2.3. ENERGIA / POTENTZIAREN BEHARRAK

Sorgailutik ateratzen den tentsioa, sistema elektroniko batera konektatuko da seinalearen artezketa eta erregulazioa egiteko, gero korrante zuzenean 6 V emateko.

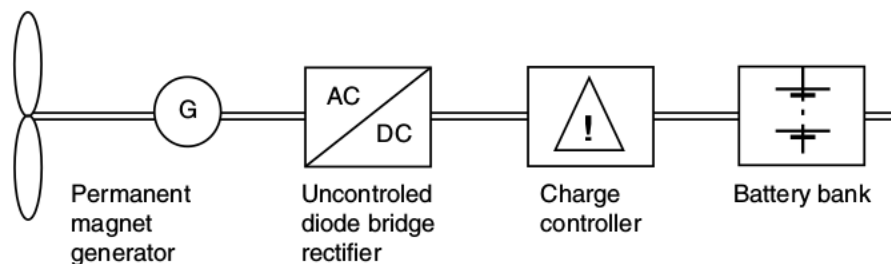
Proiektu honetarako finkatuko ditugun tentsio eta potentziak honako hauek dira, artezketa eta erregulazio sistemaren ondoren:

- ▷ **Bateriaren tentsioa = $V_{konet} = 6 \text{ VDC}$**
- ▷ **$P_{nom} = 15 \text{ W}$**

2.4. TURBINAREN DIMENTSIONEN ESTIMAZIOA

Makina baten tamainaren kalkuluak egin ahal izateko abiaduraren arabera egin behar da, abiadura horretan haizeak daraman energiaren zatirik handiena hartzeko diseinatu behar da helizea. Biraketa abiadura horren arabera, sorgailuak potentzia jakin bat emango du.

Haizeak daraman potentzia ondoko formularekin kalkulatu da



Irudia 2.3.: Sistemaren eskema

$$P_{haizea} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (2.1)$$

P = Haize masaren Potentzia (W)

A = Haizeak zeharkatzen duen azalera (m^2)

ρ = Airearen dentsitatea (Kg/m^3), normalean $1,255 Kg/cm$

v = Airearen abiadura (m/s)

Baino lehen azaldu denez, Betz-en legearen ondorioz, ezinezkoa da makina batek haizearen potentzia guztia ateratzea. Honela, aerosorgailuak aterako duen potentzia bere potentzia koefizientearen arabera izango da C_p . Honetaz gain, sistema mekanikoaren eta sistema elektrikoaren eta elektronikoaren galerak kontuan hartu beharko ditugu, errendimendu koefizienteen arabera. Gure kasuan helizearen transmisioa sorgailuari zuzeneko egingo da, beraz, potentzia elektrikoa kalkulatzeko sistema mekanikoaren galerak baztertu egingo ditugu eta bakarrik baloratuko ditugu sorgailuaren galerak (η_{sorg}) eta galera elektronikoak (η_{elek})

$$P_{haizea} = \frac{P_{elek}}{C_p \cdot \eta_{sorg} \eta_{elek}} \quad (2.2)$$

P_{elek} = Sistemaren potentzia elektrikoa (W), bateriari aplikatzekoa, gure kasuan $P_{elek} = 15W$

η_{sorg} = sorgailu elektrikoaren errendimendua $0,95 - 0,8$ artean, gure kasuan $\eta_{sorg} = 0,85$ (baldintza nominaletan)

η_{elek} = sistema elektronikoaren errendimendua, gure kasuan $\eta_{elek} = 0,9$

η_m = sistema mekanikoaren errendimendua, konexio zuzeneko gure kasuan gure kasuan $\eta_m = 1$

C_p = Potentzia koefizientea, gure kasuan savonius turbinarentzat $C_p = 0,2$ (%20)

$$P_{haizea} = \frac{P_{elek}}{C_p \cdot \eta_{sorg} \eta_{elek}} = \frac{15}{0,2 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 98,04.W$$

Eta turbinaren azalera kalkulatu nahi bada, aurreko formularen A bakanduz:

$$P_{haizea} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3.$$

$$A = \frac{2 \cdot P_{haizea}}{\rho \cdot v^3}. \quad (2.3)$$

P_{elek} = Sorgailuaren potentzia elektrikoa (W)

A = Helizearen azalera (m), Altuera x diametroa Savonius-en

ρ = Airearen dentsitatea (Kg/m³), normalean. $\rho = 1,255 \text{ Kg/cm}^3$

v = Airearen abiadura (m/s). Potentzia nominala emateko abiadura

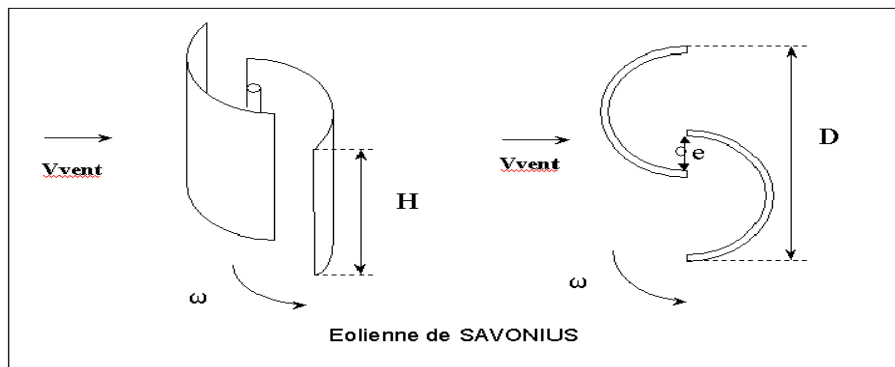
$v_{nom} = 10 \text{ m/s}$

Honen arabera lortzen den azalaren balioa:

$$A = \frac{2 \cdot P_{haizea}}{\rho \cdot v^3} = \frac{2 \cdot 98,04}{1,255 \cdot 10^3} = 0,156 \text{ m}^2$$

Gure kasuan azalera hori lortzeko honako dimentsioak zehaztu ditugu savonius diseinu klasiko baten kasuan

- ▷ **Diametroa = 0,3 m**
- ▷ **Altuera = 0,52 m**
- ▷ **Azalera = 0,156 m²**



Irudia 2.4.: Savonius errotorearen dimentsioak

2.5. TURBINAREN ABIADURA

Beste alde batetik errotorearen n biraketa abiadura kalkulatzeko

$$n = \frac{60 \cdot \lambda \cdot v}{D \cdot \Pi} \quad (2.4)$$

n = turbinaren biraketa abiadura (bueltak minutuko, rpm)

v = haizearen abiadura (m/s)

D = turbinaren diametroa (m)

λ = TSR= errotorearen abiadura espezifikoa. Haizearen abiadura eta helizearen puntan arteko erlazioa. Palen forma eta orientazioaren menpe dago. Balio nominala 0 eta 14 artean egon daiteke. Dena dela parametro hau ez da konstantea aerosorgailu batean, abiadura handitzen doan elean λ behera egiten du, estatorean sortzen den indar kontra elektroeragileen ondorioz, galgatu egiten delako. Gure kasuan, kasu honetan eraikiko den savonius errotore batean kontserbadoreak izango gara. Abiadura baxuan $\lambda_{\text{cut-in}}=0,7$ eta abiadura nominalean parametro hau beti jaisten da sorgailuan sortzen den indar kontraeragilea, beraz $\lambda_{\text{nom}}=0.6$

$$n_{\text{konet}} = \frac{60 \cdot \lambda \cdot v}{D \cdot \Pi} = \frac{60 \cdot 0,7 \cdot 7,4}{0,3 \cdot \Pi} = 178,254 \text{ rpm}$$

$$n_{\text{nom}} = \frac{60 \cdot 0,6 \cdot 10}{0,3 \cdot \Pi} = 381,972 \text{ rpm}$$

Bi abiadura desberdinduko ditugu:

n_{konet} = konektatzeko abiadura, sorgailua zehaztutako boltajea ematen hasiko da = 178,254 rpm

n_{nom} = abiadura nominala, sorgailuak bere potentzia maximoa emango du = 381,972 rpm

Ikusten denez, diametroa zenbat eta txikiagoa izan orduan eta abiadura handiagoa lortzen da turbinetan, beso kopuruak ez du abiaduran eraginik, baino bai turbinaren errendimenduan.

2.6. POLO KOPURUA ETA MAIZTASUNA.

Aurreko datuen arabera, beste parametro batzuk kalkula ditzakegu. Aerosorgailua sare elektrikora zuzenean konektatuta egongo balitz maiztasuna 50 Hz inguru izan beharko litzateke, baino gure kasuan uhin sinusoidaleko sorgailu trifasikoa egingo da eta lortutako tentsioa artezketa eta erregulazio sistema batera konektatuta egongo denez, frekuentziaren baliok ez du horrenbesteko garrantzirik. Gure kasuan, VDC bateria bati konektatuta egongo denez, frekuentzia altua ondo datorkigu seinalearen kizkurdura-tentsioa txikiagoa izateko artezketa prozesuan.

Polo kopurua, maiztasunarekin erlazionatuta dago:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (2.5)$$

n = errotorearen biraketa abiadura (rpm), n_{konet} hartuko de

f = sortutako korrontearen maiztasuna (Hz)

p = polo kopurua

Beraz polo kopurua kalkulatu nahi bada

$$p = \frac{120 \cdot f}{n} = \frac{120 \cdot 50}{178,254} = 33,65 \quad (2.6)$$

Gure kasuan seinalea arteztua izangoenez, frekuentziak ez duenez garrantzi berezirik, polo kopurua zehazteko kontuan hartuko da iman kopurua eta hauen tamaina. Parametro hau erlazionatuta egongo da aldi berean harila kopuruarekin eta hauen tamainarekin. Beste alde batetik polo kopuruak bikoitia izan behar du, *polo pare* ere deitzen zaio ipar-hegoa osatzen duten iman bikoteari. Eragina izango duen beste faktore bat aukeratu den iman/harila erlazioa da.

Beraz polo kopurua zehazteko kontuan hartuko da iman eta harila kopuru handia ez izatea, kostua baxuago izateko, eta errotorearen tamaina oso handia ez izateko.

Izan ere, aukeratzen den kopurua

▷ $p = 12$ polo, 6 polo-parea

Ondorengo taula jasotzen dira parametro guztiak, eta ikusten denez maiztasunaren balore onargarriak ateratzen dira

Taula 2.1.: Abiaduraren arabera polo kopurua eta maiztasunaren balioak

P BEHARREZKO POTENTZIA ELEKTRIKOA (W)	HAIZEAREN POTENTZIA (W)	V HAIZEAREN ABIADURA m/s	V HAIZEAREN ABIADURA Km/h	A TURBINAREN AZALERA m ²	D TURBINAREN DIAMETROA m	H TURBINAREN ALTUERA m	n TURBINAREN ABIADURA RPM	P POLO KOPURUA	f MAIZTASUNA 12 POLOEKIN Mhz
15	98,04	1	3,6	0,156	0,300	0,520	45	134,64	4,46
15	98,04	2	7,2	0,156	0,300	0,520	89	67,32	8,91
15	98,04	3	10,8	0,156	0,300	0,520	134	44,88	13,37
15	98,04	4	14,4	0,156	0,300	0,520	178	33,66	17,83
15	98,04	5	18	0,156	0,300	0,520	223	26,93	22,28
15	98,04	6	21,6	0,156	0,300	0,520	267	22,44	26,74
15	98,04	10	36	0,156	0,300	0,520	382	15,71	38,20
15	98,04	20	72	0,156	0,300	0,520	764	7,85	76,39

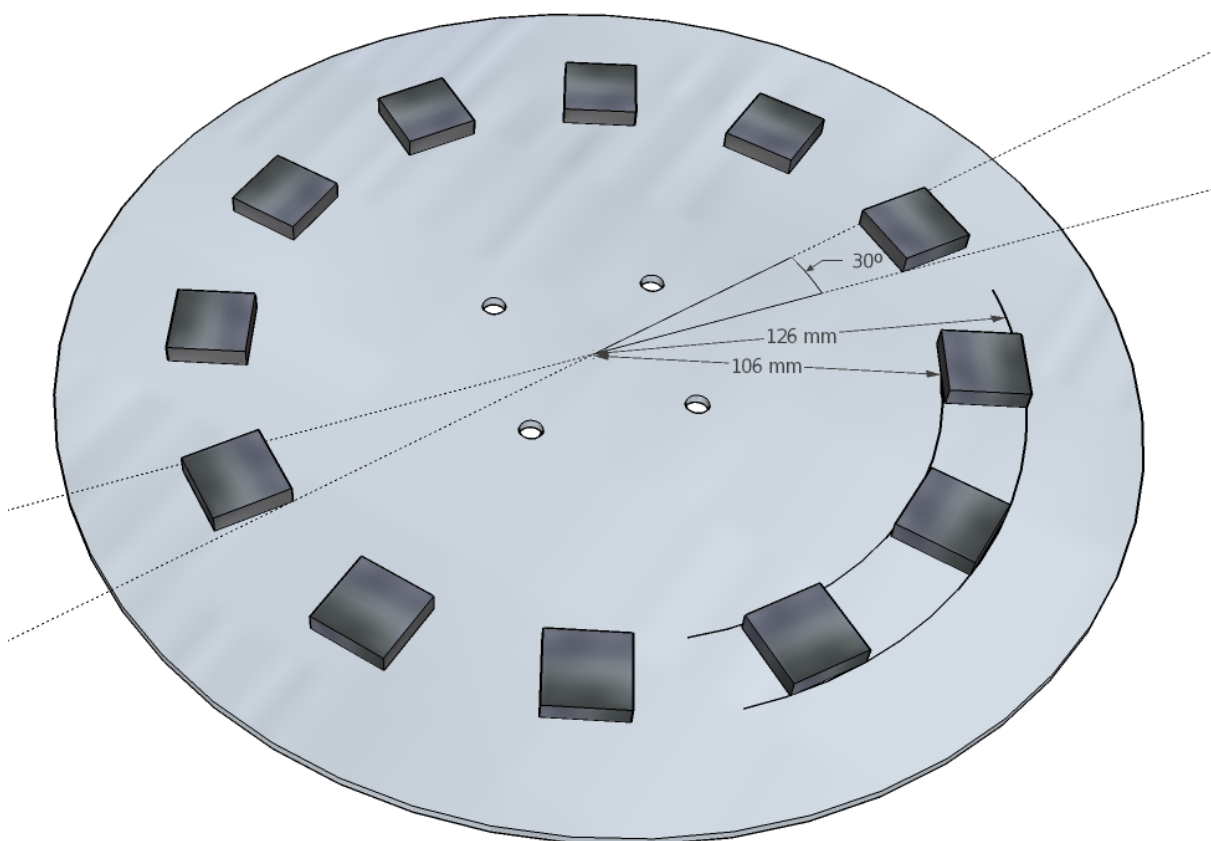
POTENTZIA ELEK	C_p SAVONIUS	η_{me} SORGAILUAREN ERREND.	$\lambda = \text{TSR}$	η_{elek} ELEKTRONIK. ERREND.	Maiztasuna (Mhz)	POLO KOPURUA
15	0,2	0,85	0,7	0,9	50,00	12,00

n_{konet} (RPM)	n_{me} (RPM)
178	382

Aukeratu den den 12 polo kopuruarekin ateratzen diren frekuentziak baxuak izango dira, hau kontuan hartu beharko da artezketa prozesua diseinatzerakoan.

2.7. IMANAK

Erabiliko ditugun imanak neodimiozkoak (NdFeB) izango dira, ezaugarri magnetiko oso onak eta prezioa ez oso altua dituztelako. Gure aerosorgailuak bi errotore ditu, bi disko, eta disko bakoitzeko polo kopuru berdineko iman kopurua. Gure kasuan 12 polo=12 iman disko bakoitzean.



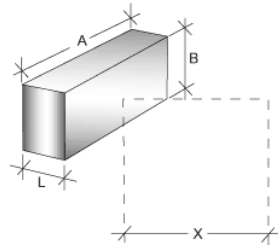
Polo kopurua murrizten bada, aerosorgailuaren kostua murriztu egiten da, baina frekuentzia baxuagoak ematen ditu, hala ere asko murrizten bada frekuentzia sorgailuaren eraginkortasuna murriztu egiten dela konprobatuta dago, sortzen den seinalearen kalitateagatik.

Merkatuan dauden imanak aztertu ondoren, aukeratutakoaren datuak (A2-eranskinean fitxa teknikoa):

$$B_x = \frac{B_r}{\pi} \left(\tan^{-1} \frac{AB}{2X\sqrt{4X^2 + A^2 + B^2}} - \tan^{-1} \frac{AB}{2(L+X)\sqrt{4(L+X)^2 + A^2 + B^2}} \right)$$

Equation 5

(where all angles are in radians)



Irudia 2.5.: Iman baten fluxu magnetikoa kalkulatzeko formula

Modeloa: Q-20-20-02-N**Materiala:** NdFeB**Dimentsioak :** 20 x 20 x 05 mm**Gradua:** N42**Br =** 12900-13200 Gauss

Lehen esan den bezala, fluxu axialeko sorgailuetan imanak aurkako polaritatean kokatzen dira aurrez aurreko errotoreko diskoetan, eta disko berean polaritatea tartekatuz (iparra - hegoa), era honetan fluxu balore handiagoak lortzen ditugu hariletan. Iman baten fluxuaren balioa gainazalean handiagoa da distantzia batera baino. Fluxuaren indarra, eragiten dion puntuarekiko distantziarekin erlazionatuta dago. Zenbat eta urrunago imanaren gainazaletik, ordun eta fluxu txikiagoa. Beraz, kalkuluak egiteko kontuan hartu behar ditugu distantzia hauek: imanen artekoa eta imanetik harilera dagoen distantzia.

Baino ez dago formula errazik kalkulatzeko eremu magnetikoaren indarra distantzia batera imanaren formaren arabera. Horretarako badaude programa informatikoak (http://www.magnetsales.com/Design/Calc_filles/FluxDensity2PlainRects.asp), hala ere, simetrikoak diren forma geometrikoen kasuan, ez hain konplexuak, badaude formulak B eremu magnetikoaren fluxuaren dentsitatea kalkulatzeko era sinpleago batean. Fluxua ipar-hegoa norabideko simetria ardatz baten arabera kalkulatu du formulak. (2.5. irudian)

Imana burdinezko xafla baten gainean baldin badago, gure kasuan bezala, formularen L dagoen lekuan $2L$ jarri behar da eta aurrez aurre bi iman daudenez errotoretan, kontrako polaritatearekin, imanen hondar-fluxu dentsitatea (B_r) bikoiztu egiten da.

$$B_x = 2 \cdot \frac{B_r}{\pi} \left(\tan^{-1} \frac{A \cdot B}{2X\sqrt{4X^2 + A^2 + B^2}} - \tan^{-1} \frac{A \cdot B}{2(2L + X) \cdot \sqrt{4(2L + X)^2 + A^2 + B^2}} \right) \quad (2.7)$$

B_x = Ereku magnetikoaren fluxu dentsitatea x distantziara (T, tesla)

B_r = Hondar-fluxu dentsitatea imanaren gainazalean (T, tesla)

A, B, L = imanaren dimentsioak (mm)

X = Harilaren erdigunera dagoen distantzia (mm)

Ondorengo taulan ikusten dira lortutako emaitzak x (Imanaren azaletik harilaren erdigunera) distantziaren arabera:

Taula 2.2.: Fluxu magnetikoaren balioak distantzia desberdinetan

	B_r (Gauss)	X Distantzia (mm)	A Luzera (mm)	B Zabalera (mm)	L Lodiera (mm)	B Imana bakarrik (GAUSS)	B Fluxu dentsitatea Bi iman burdinezko errore bikoitzean (GAUSS)	B Fluxu dentsitatea Bi iman burdinezko errore bikoitzean (TESLA)
Q-20-20-05-N	13200	6	20	20	5	1498,10	4549,3	0,455
Q-20-20-05-N	13200	7	20	20	5	1317,11	3998,0	0,400
Q-20-20-05-N	13200	8	20	20	5	1154,89	3509,8	0,351
Q-20-20-05-N	13200	10	20	20	5	885,85	2707,9	0,271

Gure konfigurazioaren arabera, eta egindako esperientziak aztertu ondoren, ondorengo konfigurazioa aukeratu da.

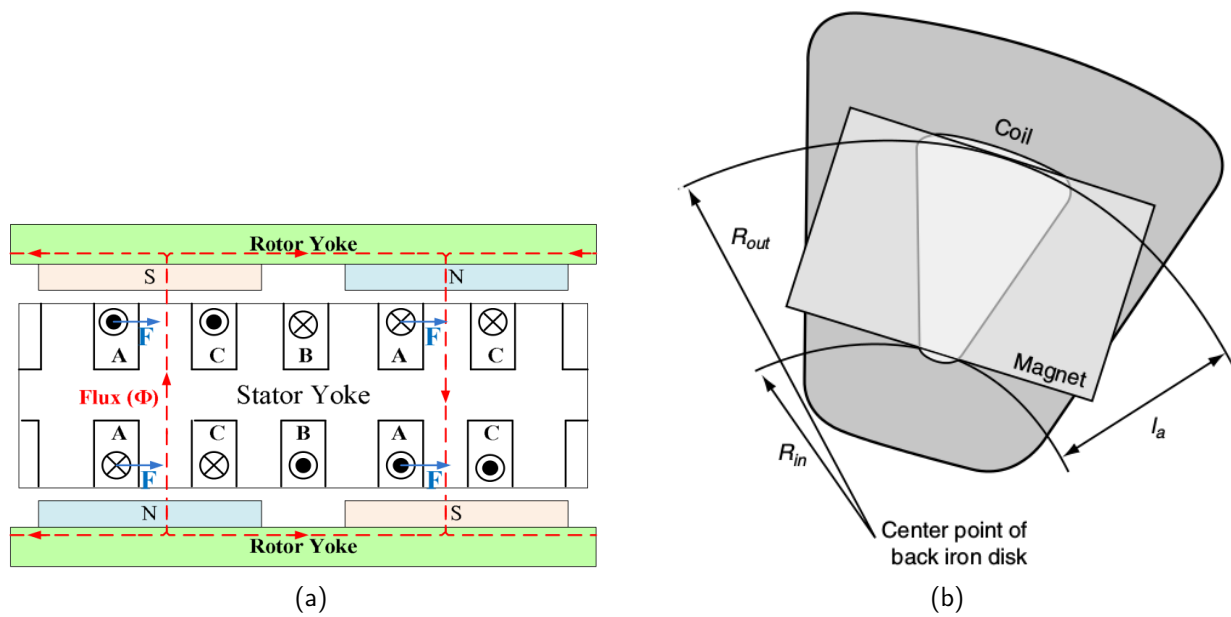
$$\text{Iman kopurua} = 12 \times 2 = 24$$

$$\text{Imanen arteko desfasea errorean} = 360/12 = 30^\circ$$

2.8. HARILAK

Imanak errorearen periferian kokatuko dira, eta harilak finko estatorean. Oso garrantzitsua da iman eta harilen arteko kokapen erlatiboa. Imanek harilen besoen arteko azaleratik pasa behar dute, horretarako imanen tamaina harilena baino txikiagoa izan behar du. (2.6. irudia). Iman bat justu harilaren erdian baldin badago ez du tentsiorik induzitzen, ez dago korrontetik harilean. Tentsioa induzitzeko harilean gutxienez iman bat harilaren besoetako baten aurretik pasatzen egon behar da. Momentu berean harilaren beso batean ipar poloa baldin badauka eta bestean hego poloa, tentsiorik handiena induzituko da (harilen norabide desberdinengatik tentsioak batu egiten dira). Beraz, kokapen erlatibo hauek eman ahal izateko iman eta harilak ondo dimentsionatu beharko ditugu.

Harila eta iman kopuruaren arteko proportzioari buruz asko eta ezberdin dago idatzita honen inguruko publikazioetan, ez dago formula zehatzik hau kalkulatzeko. Sorgailuaren

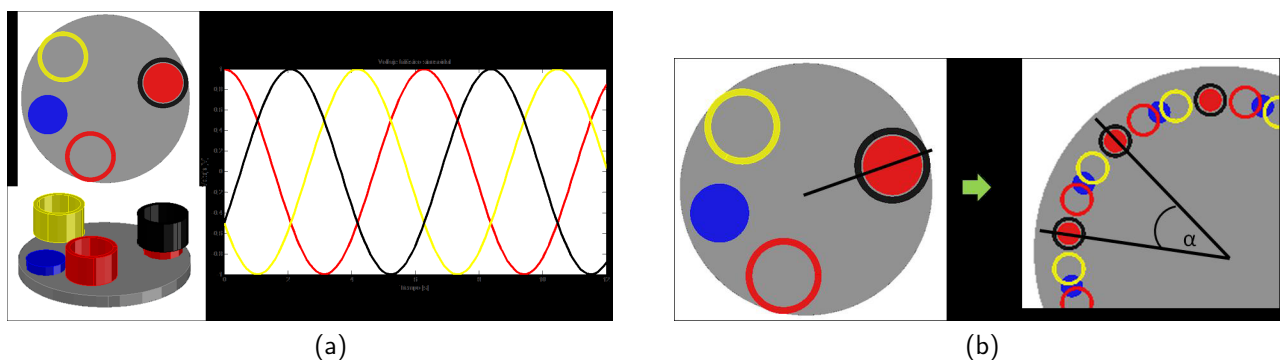


Irudia 2.6.: Iman eta harilen kokapena

ezaugarrien arabera, edo erabileraren arabera proportzio ezberdinak erabiltzen dira. Beraz gure kasuan irteerako seinalearen kalitateari erreparatuko diogu proportzioa zehazteko

Gure kasuan, sorgailuan irteerako tentsioa trifasiko orekatua lortzeko (120° -ko desfasearekin) haril eta poloen arteko proportzioa 3:2 izan behar da. Hau azaldu daiteke oinarritzko konfigurazioa aztertzen bada, bi polo eta 3 harila, fase bakoitzeko bat. Polo gehiagoren kasu batera estrapolatzen bada egoera, kokapena errepikatu beharko da, α angelu bakoitzeko (ikus 2.7. irudian).

$$\alpha = 360/(p/2)$$



Irudia 2.7.: Tentsio trifasikoa sortzeko harila-imanen kokapena 2 polo eta p poloekin.

Beraz harila kopurua kalkulatzeko $= 12_{i_{man}}*(3/2)=18$ harila erabiliko ditugu gure proiektuan.

Harila hauek era orekatuan 3 fasetan banatuta egongo dira, 6 harila fase bakoitzeko. Eta harilen arteko konexioa induzitutako indar elektroeragilea, irteerako tentsioa eta

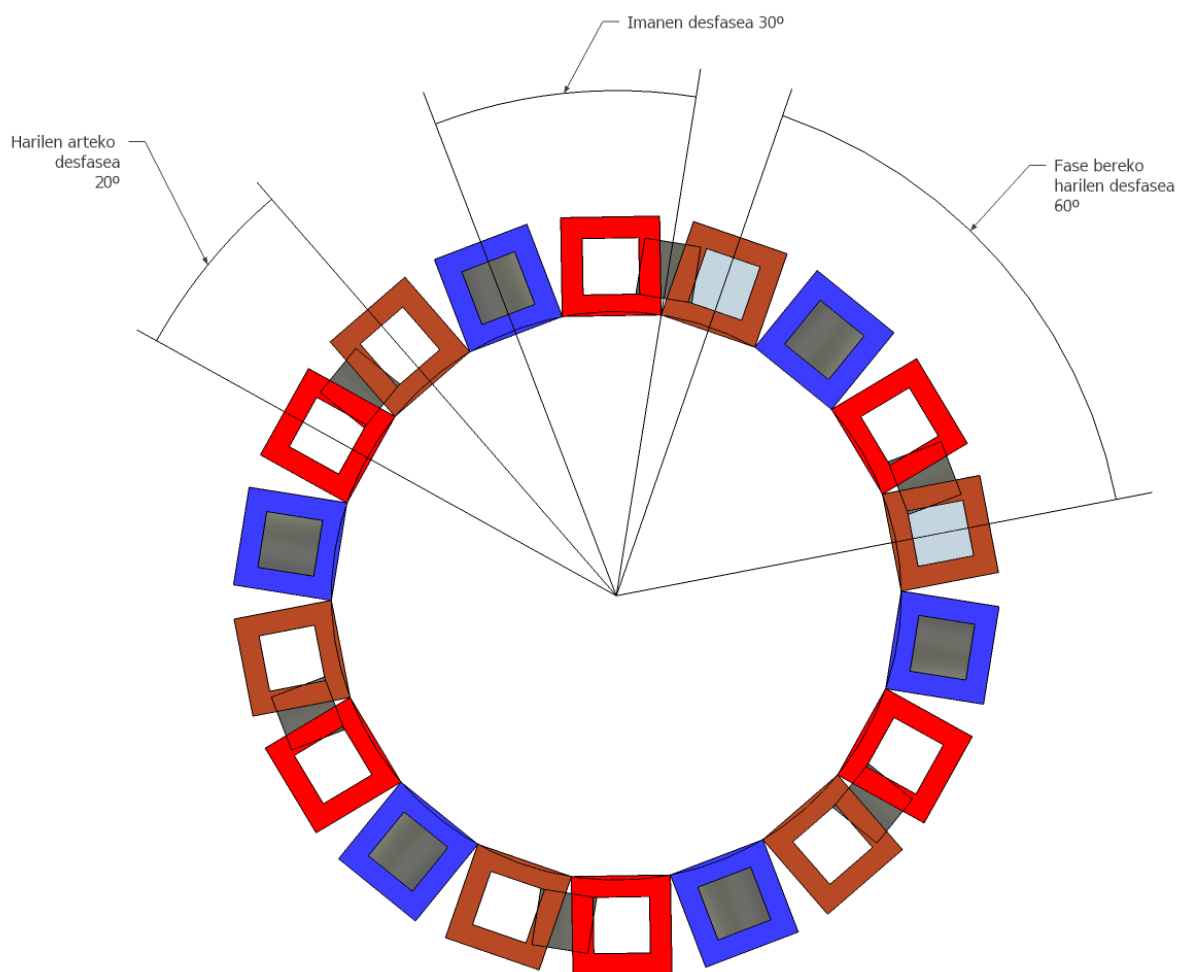
erresistentziaren arabera zehaztuko da. Gure kasuan, serie eta paraleloa izango da fase bakoitzeko, v_{konet} tentsioa abiadura txikiagotan lortzeko, eta aldi berean korrontearen intentsitate nahikoa jasan ahal izateko, hari fina erabilia harilak egiteko.

Harila kopurua= 18

Harilen arteko desfasea errotorean= $360/18 = 20^\circ$

Fase bereko harilen arteko desfasea= $360/(12/2) = 60^\circ$

Iman eta harien arteko kokapen erlatibo 2.8. irudian ikus daiteke, bertan faseen arteko desfase erlatiboak agertzen dira.

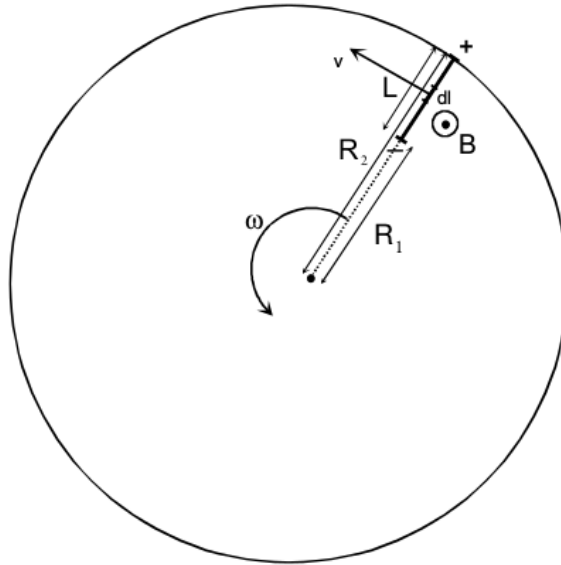


Irudia 2.8.: Iman eta harien kokapena eta desfasea sorgailuan

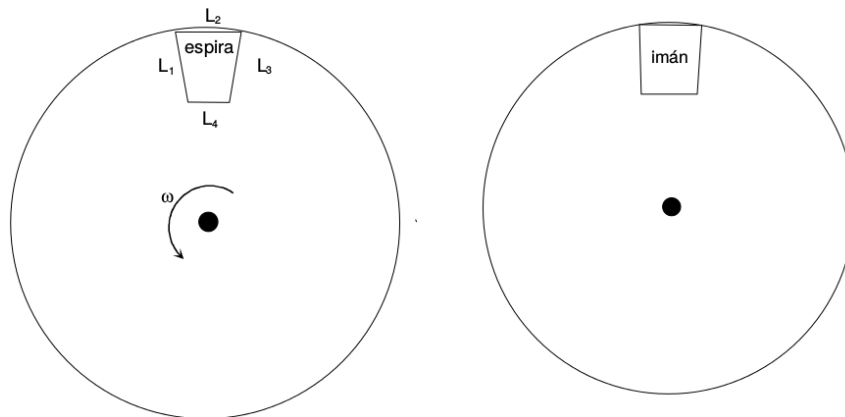
2.9. INDAR ELEKTROERAGILEA

Imanen aurretik mugitzen diren hariletan induzitutako indar elektroeragilea kalkulatzeko Lorentz adierazpenean oinarritzen gara (2.9. irudia).

Imanen aurrean, eremu magnetikoarekiko perpendikularki mugitzen den eroale zati batean induzitutako indar elektroeragilea(ϵ)



Irudia 2.9.: Eroale zatia biraka, orriarekiko perpendikularra den eremu magnetiko batean



Irudia 2.10.: Imana eta harilaren kokapena eta dimentsioak

$$\varepsilon = \omega \cdot B \cdot \frac{(R_1 + R_2)}{2} \cdot L \quad (2.8)$$

Harilaren kalkulua egiteko 2.9. irudian agertzen den bezala kokatuta baditugu imana eta harila:

Imanaren tamaina harilaren barrualdekoa bada, biratzeak harilaren besoetan (L1 eta L3) bakarrik induzituko da tentsioa, eta kontrako polaritatea duten imanak besoan aurretik pasatzerakoan indar elektroeragilea batu egingo da, beraz espira osoan induzitutako indarra aurrekoaren bikoitza izango da.

$$\varepsilon = \omega \cdot B \cdot (R_1 + R_2) \cdot L \quad (2.9)$$

Eta N espirako harila batean induzitutako indar elektroeragilea alternoa maximoa (piko)

$$\varepsilon_{piko} = \omega \cdot B \cdot (R_1 + R_2) \cdot N \cdot L \quad (2.10)$$

Baino kasu honetan iee eraginkorra kalkulatu nahi da (RMS)

$$\varepsilon_{RMS} = \frac{1}{2} \cdot \omega \cdot B \cdot (R_1 + R_2) \cdot N \cdot L \quad (2.11)$$

Eta abiadura bueltak minutuko-tan (rpm) neurtuta

$$\varepsilon_{RMS} = 0,074 \cdot n \cdot B \cdot (R_1 + R_2) \cdot N \cdot L \quad (2.12)$$

Aurrekoa errore batean izango litzateke, bi errorearen eraginpean indarra bikoiztu egiten da

$$\varepsilon_{RMS} = 2 \cdot (0,074 \cdot n \cdot B \cdot (R_1 + R_2) \cdot N \cdot L) \quad (2.13)$$

Baino adierazpen hau ez da zehatza, balio hurbildua ematen du. Disko osoa ez dago imanez beteta, tarte hutsak baitaude beraien artean. Zenbat eta iman kopuru handiago, ordun eta zehatzago izango da adierazpen emaitza. Izan ere, zehatzago egiteko asmoz, zuzenketa faktore geometrikoa erabiltzen da f_c , hau da, iman guztien azalera eta imanak dauden disko koroaren azalaren arteko zatikia da.

$$f_c = \frac{A_{\text{imanak}}}{A_{\text{koroa zirkularra}}} = \quad (2.14)$$

$$\varepsilon_{RMS} = 2 \cdot f_c \cdot (0,074 \cdot n \cdot B \cdot (R_1 + R_2) \cdot N \cdot L) \quad (2.15)$$

ε_{RMS} = N espirako harila batean induzitutako iee (V) (Balio eraginkorra)

L = Imanaren luzera = 0,02 m

R_1 = Imanak itsatsita doazen disko koroaren erradio txikia = 0,10652(m)

R_2 = Imanak itsatsita doazen disko koroaren erradio handia = 0,12652 (m)

f_c = zuzenketa faktore geometrikoa

$$f_c = \frac{A_{\text{imanak}}}{A_{\text{koroa zirkularra}}} = \frac{0,02^2 \cdot 12}{(0,12652^2 - 0,10652^2) \cdot \pi} = 0,328$$

n = biraketa abiadura, konektatzekoa hartuko da = 178,254 rpm

B = fluxu magnetikoa harilaren erdian (T)

Induzitutako IEE kalkulatu ahal izateko beste hainbat parametro finkatu beharko ditugu lehenbizi, beraz aurrera egingo dugu kalkuluekin eta geroago kalkulatuko ditugu IEE.

Beste alde batetik, sorgailuaren fase bakoitzean sortu beharko den tentsioa kalkulatzeko:

Taula 2.3.: Tentsio motak eta beraien arteko erlazioa.

Valores dados	Para encontrar los valores		
www.unicrom.com	Máximo (pico)	RMS	Promedio
Máximo (pico)		0.707 x Valor Pico	0.636 x Valor Pico
RMS	1.41 x V_{RMS}		0.9 x V_{RMS}
Promedio	1.57 x Promedio	1.11 x Promedio	

- ▷ $V_{bat} = 6 \text{ VDC}$, baterian beharko den tentsioa, artezketa eta erregulazio sistemaren ondoren.
- ▷ $V_{rectif} = 1,4 \text{ V}$, sistema elektronikoan ematen den tentsio-galtzea.
- ▷ $V_{linea-RMS} = 7,4 \text{ V}$, aerosorgailuaren borneetan beharko den tentsioaren balio efikaza, hau lineako tentsioa izango litzateke sistema trifasikoan.
- ▷ $V_{fase-RMS} = 7,4 / \sqrt{3} = 4,27 \text{ V}$, aerosorgailuko fase bakoitzean, hau da estatoreko hariletan sortu behar den 100V bateria kargatzen hasteko.

Baino gure makinak sortuko duen 100V kalkulatu ahal izateko, zenbait parametro kalkulatu behar dira lehenago: harilen kokapena eta tamaina, diskoen arteko distantzia (errotorearen lodiera), eta parametro hauek aldi berean erlazionatuta daude hariletan sortuko den 100V-rekin. Beraz, aurrera jarraitu ahal izateko, parametro batzuk finkatu behar dira, parametroren bat zehaztu eta jarraitu kalkuluekin. Lortutako emaitzak ez badu aurreikuspena betetzen, egokitu eta berriro kalkuluak egin.

2.10. INTENTSITATE MAXIMOA

Eta korrontearen estimazio bat egiteko hariletik pasako den intentsitate maximo kalkulatzeko, beharrezko potentzia eta tentsioan oinarrituko gara

Potentziari dagokionean

$$P_{nom-sorg} = \frac{P_{bat}}{\eta_{sorg}\eta_{elek}} \quad (2.16)$$

$P_{nom-sorg}$ = Sorgailuaren potentzia nominala (haizearen abiadura $v=10 \text{ m/s}$ denean)

P_{bat} = Sistema osoak eman beharreko potentzia bateria kargatzeko,

$$P_{bat} = 15 \text{ W}$$

η_{sorg} = sorgailu elektrikoaren errendimendua, $\eta_{sorg} = 0,85$

η_{elek} = sistema elektronikoaren errendimendua, gure kasuak, $\eta_{elek} = 0,9$

$$P_{nom-sorg} = \frac{15}{0,85 \cdot 0,9} = 19,6 \text{ W} \quad (2.17)$$

- ▷ $V_{AC} = V_{BAT} + V_{RETF} = 7,4 \text{ V}$
- ▷ $V_{fase-RMS} = 7,4 / \sqrt{3} = 4,27 \text{ V}$, fase bakoitzean, hau da estatoreko hariletan sortu behar den iew (balio efikaza) sistema kargatzen hasteko (cut-in)

Hariletan induzitutako iew biraketa abiadurarekin proportzionala da, beraz honako erlazioa ematen da

$$\frac{V_{fase-nom}}{V_{fase-konet}} = \frac{n_{nom}}{n_{konet}} \Rightarrow V_{fase-nom} = \frac{n_{nom} \cdot V_{konet}}{n_{konet}} \quad (2.18)$$

$$n_{konet} = 178 \text{ rpm}$$

$$n_{nom} = 382 \text{ rpm}$$

$$V_{fase-konet} = 4,27 \text{ V (balio efikaza - RMS)}$$

$$V_{fase-nom} = \frac{382 \cdot 4,27}{178} = 9,16 \text{ V}$$

Beraz

$$P_{nom} = \sqrt{3} \cdot V_{linea-nom} \cdot I_{linea} \cdot \cos \rho \quad (2.19)$$

Eta intentsitatea kalkulatu nahi bada

$$I_{linea} = I_{fase} = \frac{P_{nom}}{\sqrt{3} \cdot V_{linea-nom} \cdot \cos \rho} \quad (2.20)$$

Gure Kasuan:

$$P_{nom-sorg} = 19,6 \text{ W}$$

$$\text{Segurtasun koefizientea} = 1,1$$

$$V_{fase-nom} = 9,16 \text{ V (balio efikaza - RMS)}$$

$$V_{linea-nom} = 9,16 \cdot \sqrt{3} = 15,86 \text{ V (balio efikaza - RMS)}$$

$$\cos \varphi = 0,9$$

$$I_{linea-nom} = I_{fase-nom} = \frac{19,6 \cdot 1,1}{\sqrt{3} \cdot 15,86 \cdot 0,9} = 0,87 \text{ A}$$

$$\text{Beraz } I_{linea-nom} = I_{fase-nom} = 0,87 \text{ A}$$

2.11. HARI EROALEA

Hariaren aukeraketa egiteko kontuan hartu behar da sekzioa oso handia ez izatea, xaflakortasuna ez galtzeko eta harilak oso handiak ez sortzeko, baina sekzio nahikoa sorgailuaren gehieneko intentsitatea jasan ahal izateko. Instalazio elektriko arrunt batean hariaren sekzioa tentsio erortzeak mugatzen du. Harila elektromagnetiko batean, aldiz,

limitea bertan sortzen den beroak ematen du. Esmaltatutako kobrezko haria batek ezin du jasan 155° - 180° tenperatura baino altuagoa, erabilitako klasearen arabera (F, H), bestela estaltzen duen material isolatzailea degradatu egiten delako. Ez da erraza kalkulatzeko zein izango den hari baten berotze puntua, faktore askoren menpe egongo delako: funtzionamendu denbora, harilaren hozte kapazitatea, giro-tenperatura, kobreaken bolumena...etab.

Beste alde batetik, honelako sistemetan erabiltzen den hariaren diametro minimoak 6 A/mm^2 -ko intentsitatea jasateko gai izan behar du, beste esperientzietan ikusi denez. Korrante dentsitate maximoa J_{max} (A/mm^2) honela kalkulatu da

$$J_{max} = \frac{I_{max}}{S_{eroalea}} \quad (2.21)$$

Gure kasuan eroalearen sekzioa kalkulatzeko

$$S_{eroalea} = \frac{0,87}{6} = 0,145 \text{ mm}^2$$

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{S}{\Pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,145}{\Pi}} = 0,42 \text{ mm} \quad (2.22)$$

Gure kasuan hartuko den hariaren ezaugarriak A.1 eranskinean agertzen dira, (Elementos Magneticos de Navarra enpresan- www.elementosmagneticos.com).

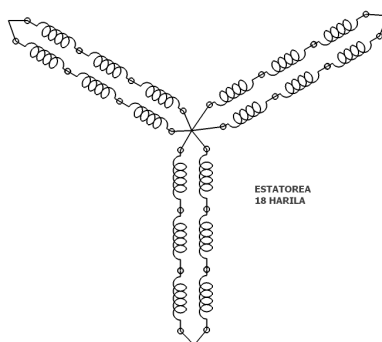
- ▷ $D = 0.5 \text{ mm}$
- ▷ Sekzioa= 0.1963 mm^2
- ▷ Gradua= 1
- ▷ Kanpoko diametroa = $0,534 \text{ mm}$ (isolatzailearekin)
- ▷ Intentsitate maximoa= $1,178 \text{ A}$
- ▷ Erresistentzia= $0,08706 \Omega /\text{m}$
- ▷ Pisua = $1,7455 \text{ Kg/Km}$

2.12. HARILEN ESPIRA KOPURUA

Erabiliko ditugun Harila kopurua 18 izango dira, hiru fasetan banatuta, 6 harila fase bakoitzeko. Konexio posibleak:

- ▷ Harila guztiak seriean edo paraleloan: hau ez du oso egokia, lortzen diren tentsioak oso altuak edo oso txikiak izango liratekeelako.

- ▷ Seriean 2 hariletako hiru multzo paraleloan: Hemen paraleloan egonda, zehaztutako iew lortzeko harilek espira gehiago beharko dute, eta beste aldetik gure kasuan korrante baxuak egongo dira. Beraz, ez da oso egokia ikusten konfigurazio hau.
- ▷ Seriean 3 hariletako bi multzo paraleloan: Hau da hobesten den konfigurazioa, 3 harilak seriean konektatzekoan, iew batu egiten da eta harileko ez dira horrenbeste espira beharko, beste alde batetik fase bakoitzeko $I_{max} = 0,91$ A ez da oso altua izango, potentzi baxuekin ari garelako, eta beraz, aukeratutako hariak erraz jasan dezake intentsitate I_{max} hori. (2.11. irudia)



Irudia 2.11.: Harilen konexioa estatorean.

Zenbait kalkulu teoriko egin ondoren: induzitutako iew, harilaren tamaina, errotorearen tamaina...etab, diseinuarekin jarraitzeko 200 espirako harilak egitea erabaki da. Harilak karratuak izango dira, imanek duten forma berekoak, eta harilen nukleo hutsa imanen tamainakoa izango da, era honetan harilek hartu ahal izango dute imanek sortutako fluxu osoa, fluxu dispersioa ahalik eta txikiena izan dadin.

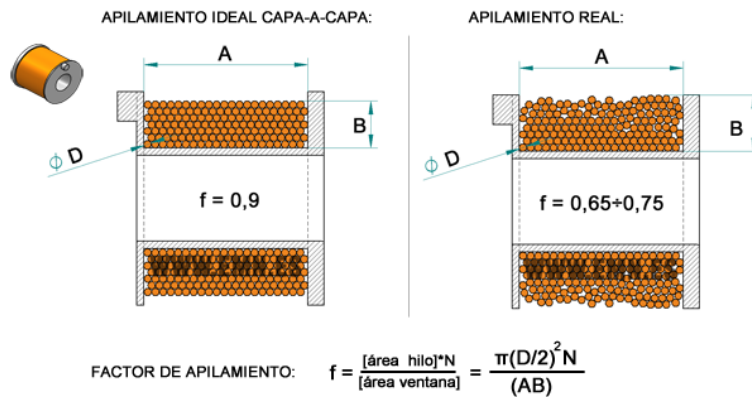
Harilen diseinuan kontuan hartu behar den beste faktore bat, harilkatuaren betetze faktorea. Harila batean betetze faktorea hariaren bolumen totala (kobrea + isolatzailea) eta harilean benetan okupatzen duen bolumenaren arteko zatikiari deitzen zaio betetze faktorea. Haria perfektuki bildutako harila batean $f = 0,9$ inguru izaten da faktore hau, baino espira askotako hariletan irregulartasunak sortzen dira haria biltzerakoan, eta betetze faktorea jaisten da, izan ere honelako kasuetan faktorea 0,65 eta 0,75 artean egoten da, biltze prozesuko faktore ezberdinen arabera.

$$f = \frac{\text{hari sekzioa} \cdot N}{\text{leiho azalera}} \quad (2.23)$$

f = betetze faktorea (fill factor), beti < 1 .

N = espira kopurua

Era honetan, betetze faktorearen bitartez, diametro jakin bateko espira kopuru batek okupa dezakeen espazioa, guztiz beharrezkoa gure diseinuarekin aurrera egiteko.



Irudia 2.12.: Harilaren betetze faktorea

Gure harilen parametroak

- ▷ Harila kopurua = 18
- ▷ Espira kopurua = 200
- ▷ Hariaren $D = 0,5\text{mm}$
- ▷ Hariaren $S = 0,196 \text{ mm}^2$
- ▷ Hariaren D (isolamenduarekin) = $0,534\text{mm}$
- ▷ Hariaren S (isolamenduarekin) = $0,224 \text{ mm}^2$
- ▷ Betetze faktorea = $0,75$
- ▷ Harilaren zeharkako sekzio = S_h

$$S_h = \frac{200 \cdot 0,224}{0,75} = 59,72 \text{ mm}^2$$

- ▷ Harilaren sekzioa = $59,72 \text{ mm}^2 = 8 \text{ mm} \times 7,47 \text{ mm}$
- ▷ Harilaren tamaina = $34,93\text{mm} \times 34,93\text{mm} = 35 \times 35 \text{ mm}$
- ▷ Harilaren lodiera = 8 mm

Datu hauekin orain estatorea eta errotorearen dimentsioak aterako ditugu, horretarako harilen dimentsioak eta kopurua jakinda, desfaseko angeluan osatzen den triangeluari erreparatuz, trigonometria aplikatzen da erradioak kalkulatzeko. (Ikus 2.13. irudia).

Taula 2.4.: Estatore eta errotorearen dimentsioen kalkuluak

Iman mota	Espira kopurua	Hariaren D(mm)	Hariaren S(mm ²)	Iman kopurua	Imanen arteko desfasea (°)	Harila kopurua	Hrilen arteko desfasea (°)	Imanen luzera (mm)	Imanen zabalera (mm)	Imanen Lodiera (mm)
Q-20-20-05-N	200	0,534	0,224	12	30	18	20	20	20	5
Harilarten sekzioa (mm ²)	Harilaren altuera (mm)	Besoaren zabalera (mm)	Harilaren zabalera (mm)	Harilaren luzera (mm)	Radio a la base (mm)	Estatorearen R (mm)	y	Errot. R2 (mm)	Errot. R1 (mm)	
59,72	8,00	7,47	34,93	34,93	100,58	135,51	99,05	126,52	106,52	

Beste alde batetik, errotoreko diskoen arteko distantzia ere finkatu da, jakinda harilaren lodiera 8 mm-takoa dela, eta imana-harila distantzia 2,5mm. Ikus .2.15 irudia

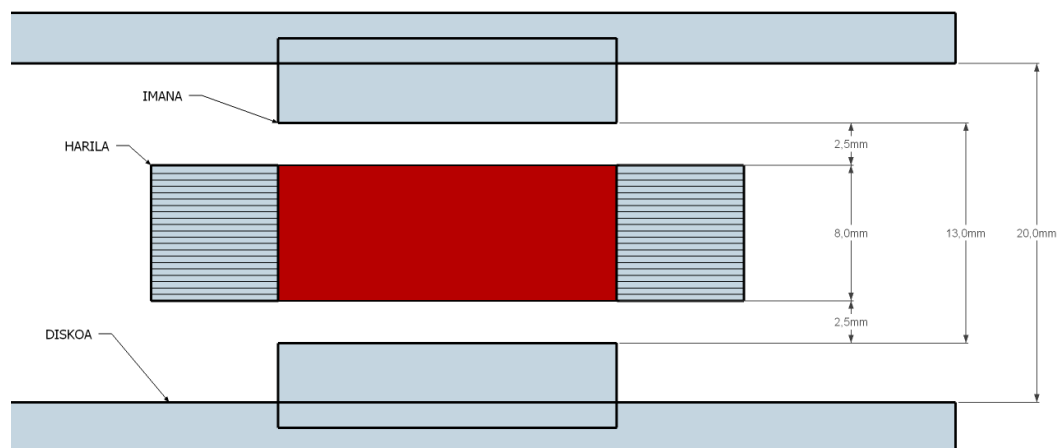
Ondorengo 2.4. taulan 200 espirako harilen parametroak eta lortutako dimentsioak ikus daitezke.

Eta errotore zein estatorearen dimentsioak:

Errotoreko diskoen lodiera = 3mm

Errotoreko diskoen arteko distantzia=20 mm

Imanen gainazalen arteko distantzia = 13 mm



Irudia 2.15.: Estatore eta errotorearen arteko distantziak.

Datu hauek zehaztuta, hariletan induzitutako ie kalkulatu dezakegu.

2.13. IRTEERAKO TENTSIOA

Indar espira batean elektroeragilearen formula gogoratzen bada:

$$\varepsilon_{RMS} = 2 \cdot f_c \cdot 0,074 \cdot n \cdot B \cdot (R_1 + R_2) \cdot L \quad (2.24)$$

ε_{RMS} = N espirako harila batean induzitutako iew (V) (Balio eraginkorra)

L = Imanaren luzera = 0,02 m

N = 200

R_1 = Imanak itsatsita doazen disko koroaren erradio txikia = 0,10652(m)

R_2 = Imanak itsatsita doazen disko koroaren erradio handia = 0,12652 (m)

f_c = zuzenketa faktore geometrikoa

$$f_c = \frac{A_{\text{imanak}}}{A_{\text{koroa zirkularra}}} = \frac{0,02^2 \cdot 12}{(0,12652^2 - 0,10652^2) \cdot \Pi} = 0,328$$

n = biraketa abiadura, konektatzekoa hartuko da = 178,254 rpm

B = fluxu magnetikoa harilaren erdian (T). Hau kalkulatzeko ondoko formula erabili behar da

▷

$$B_x = 2 \cdot \frac{Br}{\Pi} \left(\tan^{-1} \frac{A \cdot B}{2X \sqrt{4X^2 + A^2 + B^2}} - \tan^{-1} \frac{A \cdot B}{2(2L + X) \cdot \sqrt{4(2L + X)^2 + A^2 + B^2}} \right) \quad (2.25)$$

Br = 13200 G

A = 20mm

B = 20mm

L = 5mm

X = 7mm

(kalkuluak radianetan eginda daude)

$$B_x = 2 \cdot \frac{13200}{\Pi} \left(\tan^{-1} \frac{20 \cdot 20}{2 \cdot 7 \sqrt{4 \cdot 7^2 + 20^2 + 20^2}} - \tan^{-1} \frac{20 \cdot 20}{2 \cdot (2 \cdot 5 + 7) \cdot \sqrt{4 \cdot (2 \cdot 5 + 7)^2 + 20^2 + 20^2}} \right) =$$

$$B_x = 3998,0G = 0,4T$$

Eta balio hauek 2.24ekuazioan ordezkatzen baditugu, espira batean iew lortuko da

$$\varepsilon_{\text{espira}} = 2 \cdot 0,328 \cdot 0,074 \cdot 178,254 \cdot 0,3998 \cdot (0,10652 + 0,12652) \cdot 0,02 = 0,016124V$$

Harila osoan

$$\varepsilon_{\text{harila}} = 0,016124 \cdot 200 = 3,22V$$

Eta fasean (hiru harila seriean)

$$\varepsilon_{\text{fasea}} = 3,22 \cdot 3 = 9,67V$$

$$\varepsilon_{\text{linea}} = 3,22 \cdot 3 = 16,75V$$

Ondorengo irudian datu guztiak agertzen dira, aurreikuspena eta azkenik aukeratutako konfigurazioan lortutako tentsioak:

Taula 2.5.: Induzitutako IEE eta irteerako tentsioa

	Tamaina	Imanen L (m)	Imanen R1 (m)	Imanen R2 (m)	f_c	B (Tesla)	n (rpm)	E (V)	Espira kopurua	Harilak seriean faseko	N espira Harilako	IEE harilako (V)	V_{fase} (V)	V_{linea} (V)
AURREIKUSPENA	20x20x5	0,0200	0,1065	0,1265	0,3278	0,400	178,25	0,0161	265,1181	3	88,373	1,424	4,272	7,4
200 espira n_{opt}	20x20x5	0,0200	0,1065	0,1265	0,3278	0,400	178,25	0,0161		3	200	3,22	9,67	16,75
200 espira n_{nom}	20x20x5	0,0200	0,1065	0,1265	0,3278	0,400	381,97	0,0345		3	200	6,91	20,72	35,89

Ikusten denez, 200 espirako konfigurazioarekin lortutako tentsioak altuagoak dira teorian behar direnak baino ($V_{\text{linea-konet}}=7,4V$ eta $V_{\text{linea-nom}}=15,86V$), baino kontuan hartu behar da balio kalkulu guztiak sorgailua kargarik gabe dagoenean eginda daudela, hutsean hain zuzen ere. Karga bati konektatuta dagoenean balio hauek murriztu egingo direla indar kontra elektroeragilearen ondorioz.

2.14. HARILEN LUZERA ETA ERRESISTENTZIA.

Erabili beharreko hariaren luzera kalkulatzeko, harila batekoa kalkulatu da lehendabizi. Horretarako, harilaren tamaina jakinda, espira baten batez besteko luzera kalkulatu da, espira txikiena eta handienaren luzeren arteko batez bestekoa kalkulatu.

$$L_{\text{espira batezbestekoa}} = \frac{L_{\text{Espira txikia}} + L_{\text{Espira handia}}}{2} \quad (2.26)$$

Gero espira guztien harien luzera eta bukatzeko erresistentzia.. Ondoko taulan agertzen dira kalkulu guztiak:

Taula 2.6.: Harilen luzera eta erresistentzia

Harilaren luzera (mm)	Harilaren zabalera (mm)	Barneko zuloaren luzera (mm)	Barneko zuloaren zabalera (mm)	Espira txikiaren luzera (mm)	Espira handiaren luzera (mm)	Batez besteko espira luzera (mm)	Espira kopurua harileko
34,93	34,93	20,00	20,00	80	139,72	109,861	200

Harilaren luzera (mm)	Harilaren luzera (m)	Harila kopurua	Harila guztietarako hariaren luzera (m)	Hariaren S (mm ²)	Hariaren D (mm)	Hariaren R (Ω/m)	R erresistentzia harileko (Ω)
21972,29	21,97	18	395,50	0,196	0,50	0,087	1,91

Erresistentzia faseko (Ω)
2,87

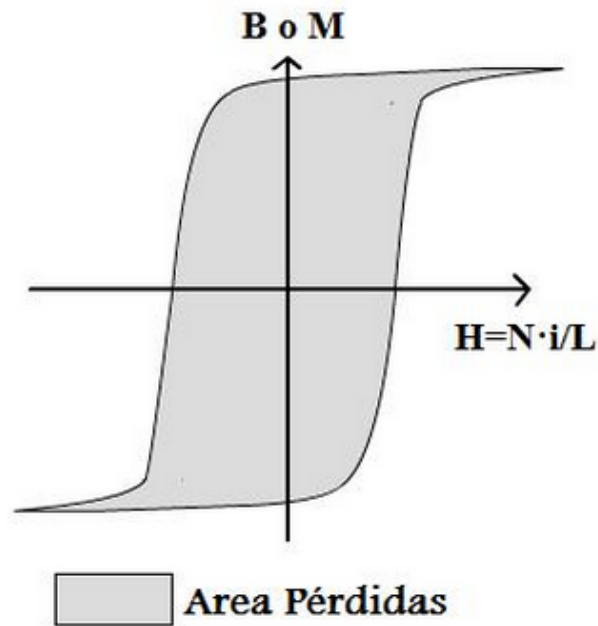
2.15. GALERA ELEKTRIKO ETA MAGNETIKOAK

Makina elektriko batean ematen diren galerak bi motatakoak izan daitezke:

- ▷ Nukleotik garraiatzen diren korrante parasitoak eta histeresi magnetikoaren ondorioz galtzen den energia (burdinaren galerak).
- ▷ Harilkatuko kobreak ematen den Joule efektuaren ondorioz, beroaren bitartez, galera elektrikoak.

Gure kasuan estatorea burdin materialez eginda ez dagoenez, histeresi ondoriozko galerak asko murriztuko dira eta korrante parasitoen ondorioz sortutako galerak ia ez dira egongo, horregatik azken hauek baztertu egingo ditugu kalkulu hauetan.

Histeresi-galerak, material ferromagnetikoetan magnetizazio eta desmagnetizazioaren ondorioz sortzen dira, material hauen histeresiaren fenomenoaren ondorioz (histeresi kurba). Lan frekuentziarekiko proportzionalak dira, horrek adierazten duelako magnetizazio prozesua nola ematen den, eta abiadura baxuetan galerak txikiak dira eta handitzen doaz haizearen abiadura, eta ondorioz maiztasuna, igotzen den neurrian. (2.16. irudia).



Irudia 2.16.: Histeresi-galerak adierazten dituen kurba

Galera hauek honela kalkula daitezke Steinmez-en formularen bitartez.

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_{max}^\alpha \cdot (Pisua) \quad (2.27)$$

$$Pisua = V \cdot Dentsitatea = \Pi \cdot (R_2^2 - R_1^2) \cdot e \cdot \rho_{altzairua} \quad (2.28)$$

P_h = Histeresi-Galerak (W/Kg)

K_h = Material motaren araberako konstantea = 0,002 burdinezko txaparen kasuan.

B_{max} = Indukzioaren balio maximoa (T). Imanak gainazalean dituzten berdinak hartuko da $B_{max} = 1,3200$ T

α = Steinmez koefizientea, 1,5-3 arteko balioa hartzen du. Normalean $\alpha = 1,6$ $B < 1$ T denean, eta $\alpha = 2$ $B < 1$ T denean. Gurean $\alpha = 2$

$Pisua$ = Fluxu magnetikoaren azpian dagoen materialaren bolumenaren pisua (Kg)

ρ = altzairuaren dentsitatea = 7853 Kg/m³

e = xaflaren lodiera = 0,003m (2 daude)

Beste alde batetik Joule efektuaren ondorioz hari eroalean sortutako galerak, harilkatuen erresistentzia eta beretik pasatzen den korrontea erabiliko ditugu

$$P_{joule} = I^2 \cdot R$$

P = potentzia galera eroalean (W)

R = Eroalearen erresistentzia (Ω)

Kalkuluak egiteko kontuan hartu behar da abiadura nominalean fase bakoitzeko pasako den intentsitatea $I_{nom}=0,87$ A izango dela, eta fase bakoitzean hiru harilen bi linea paralelo dagoenez, hariletatik pasako den intentsitatea horren erdia izango da $I_{nom}=0,45$ A, eta harilen erresistentzia $R = 0,91\Omega$.

Beraz harila batean galera:

$$P_{joule-harila} = I^2 \cdot R$$

Ondorengo taulan ikusten dira emaitzak, abiadura nominalean eta intentsitatea maximoa denean

Taula 2.7.: Potentzia galerak

K_n	α	f abiadura nominalean (Mhz)	Errot lodiera (m)	$R1$ (m)	$R2$ (m)	V (m3)	Pisua (Kg)	B_{max} (T)	$P_{HISTERESI}$ (W)
0,02	2	38,20	0,003	0,10652	0,12652	0,0000879	0,690	1,3	0,89

JOULE GALERAK

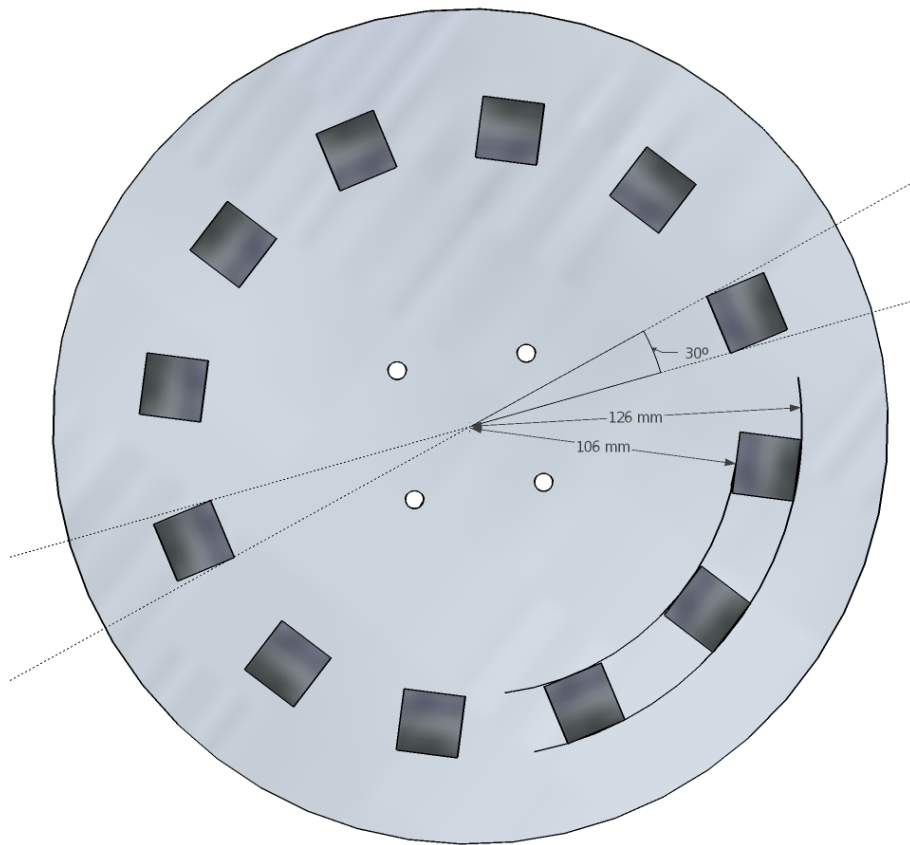
I_{nom} (A)	R Erresist. Harileko (Ω)	P_{joule} Harileko (w)	P_{JOULE} Guztira (w)
0,436	1,91	0,364	6,55

POTENTZIA GALERAK GUZTIRA (w)
7,44

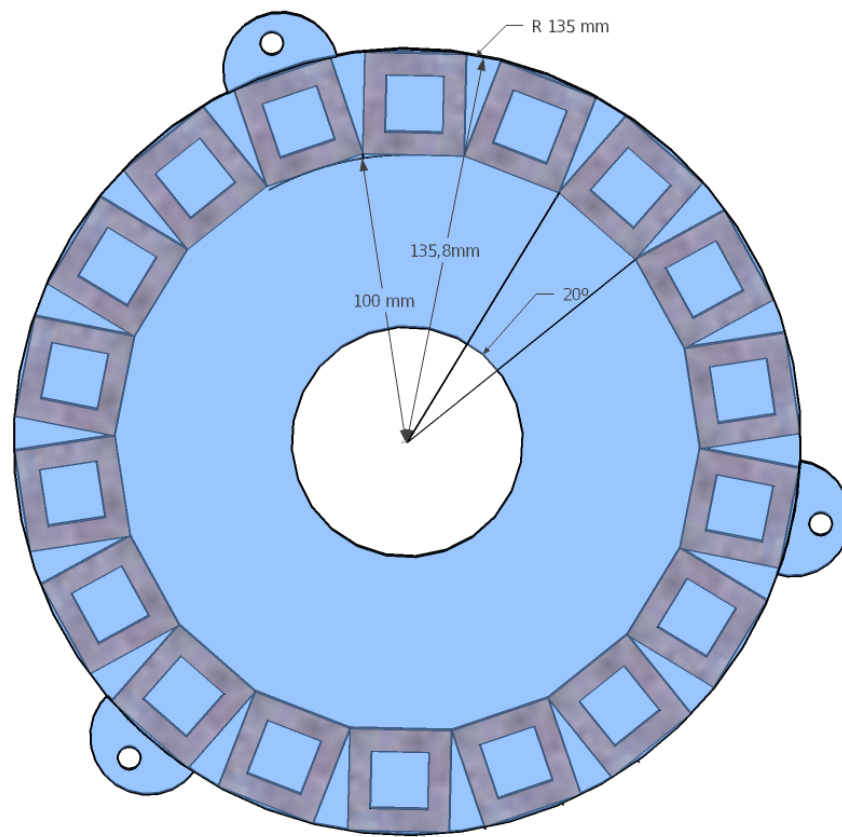
2.16. ALTERNADOREAREN DIMENTSIOAK

Taula 2.8.: Sorgailuaren azken dimentsioak

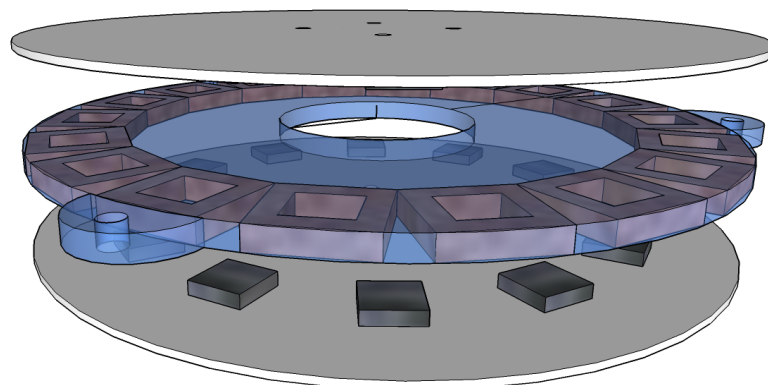
Polo / Iman Kopurua errotoreko	12
Imanaren Luzera A (mm)	20 mm
Imanaren Zabalera B (mm)	20 mm
Imanaren Lodiera L (mm)	5 mm
Imanaren Br (T)	1, 32 T
Iman-harilaren erdigunera dist. (mm)	7 mm
Indukzioa harilean Bx (T)	0,400 T
Fase kopurua	3
Harila kopurua faseko	6
Harila kopurua guztira	18
Espira kopurua harileko	200
Hari eroalearen sekzioa (Cu)	0,5 mm
Harilaren Luzera	35 mm
Harilaren Zabalera	35 mm
Harilaren Lodiera	8 mm
Hariaren Sekzioa S	59,7 mm²
Harilaren besoaren zabalera	7,5 mm
Korrente dentsitate maximoa	6 (A/mm²)
Eroalearen luzera harileko (b.b.)	109,861 mm
Erresistentzia harileko	1,91 Ω
Erresistentzia faseko	2,87 Ω
Estatorearen kanpoko diametroa	136 mm
Estatorearen barne diametroa	99 mm
Estatorearen Lodiera	8 mm
Errotorearen kanpo diametroa	126,5 mm
Errotorearen barne diametroa	106,5 mm
Errotorearen lodiera	3-1,5 mm
Diskoen arteko distantzia	20 mm
Imanen arteko distantzia	13 mm
Burdintartekoa (Iman-harila)	2,5 mm
Harilean induzitutako IEE ($n_{\text{cut-in}}$)	3,22 V
Harilean induzitutako IEE (n_{nom})	6,91 V
$V_{\text{fase-nom}}$	9,67 V
$V_{\text{linea-nom}}$	16,75 V



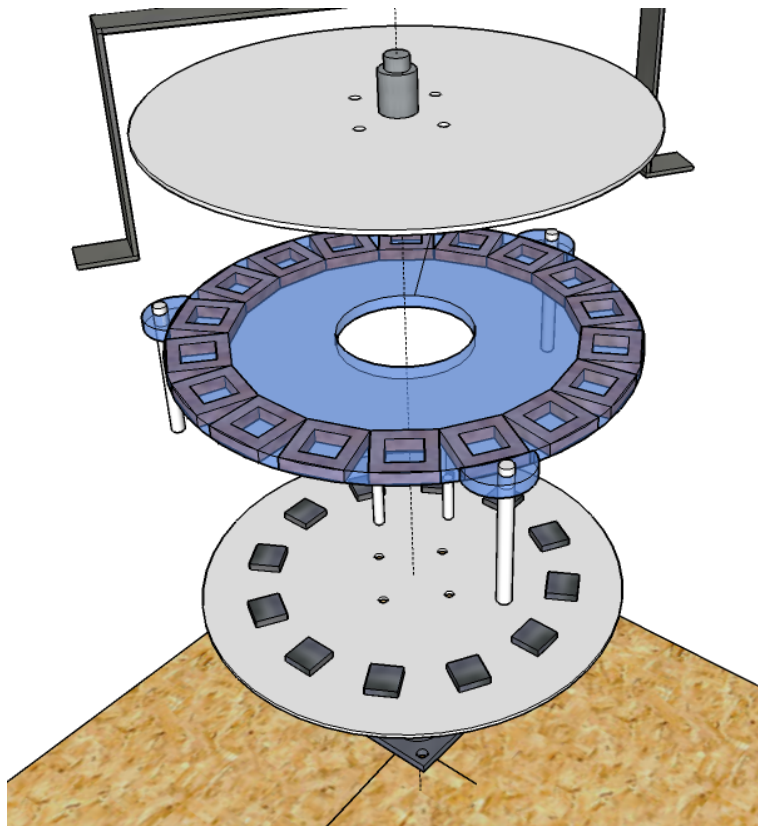
Irudia 2.17.: Errotorearen dimentsioak



Irudia 2.18.: Estatorearen dimentsioak



Irudia 2.19.: Diskoen kokapena



Irudia 2.20.: Sorgailuaren muntaia.

3. PROTOTIPOAREN MUNTAIA ETA SAIAKUNTZA PROBA

Lan honen hasieran azaldu denez, proiektuaren helburuetako bat arlo teorikotik eremu praktikora pasatzea izan da. Horretarako, kalkulu teorikoetan lortutako emaitzen ondorioz ateratako azken dimentsioak erabiliz, aerosorgailuaren prototipoa eraiki da. Atal honetan azalduko da muntaiaren prozesuan emandako urrats nagusiak.

Sorgailuaren muntaia egiteko jarraitutako prozesuko ekintzen sekuentzia sinplea izan da da.

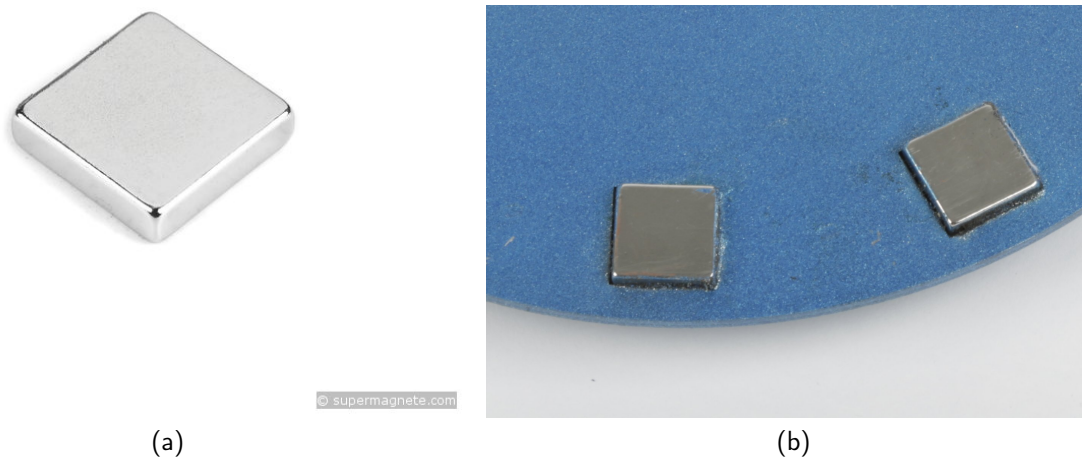
- ▷ Material guztia bildu eta ondo prestatu
- ▷ Imanak itsatsi
- ▷ Harilak egin
- ▷ Harilak estatorean kokatu
- ▷ Harilen borneen arteko konexioa egin
- ▷ Faseko borneak konektatu
- ▷ Errotoreko diskoak eta estatorea ardatzean sartu
- ▷ Euskarrian finkatu
- ▷ Azken doikuntzak egin.

3.1. IMANAK

Memorian azaldu den bezala, gaur egun merkatuan dauden iman mota desberdinak azterturik, lur arraroko imanak aukeratu ditugu sorgailua egiteko, batez ere hauek dituzten ezaugarri teknikoak eta kosteari begiratuta . Salmenta leku ezberdinetan begiratu ondoren, azkenik web bidezko denda batean erostea erabaki da: <http://www.supermagnete.es/>

Imanen tamaina eta ezaugarriak erabakitzeko orduan kontuan hartu da honakoak: Kalkulu prozesuan lortutako emaitzak, modelo ezberdinen kostea eta bukaerako sorgailuaren dimentsioak oso handia ez ateratzea (errotoreen diametroa eta lodiera)

Azkenik erositako imanak.

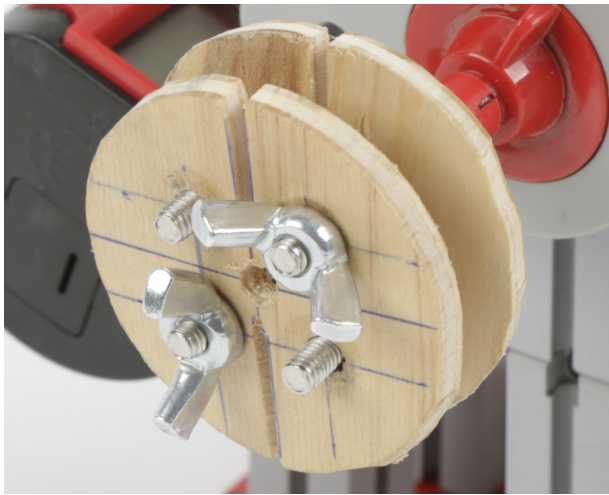


Irudia 3.1.: Imanak

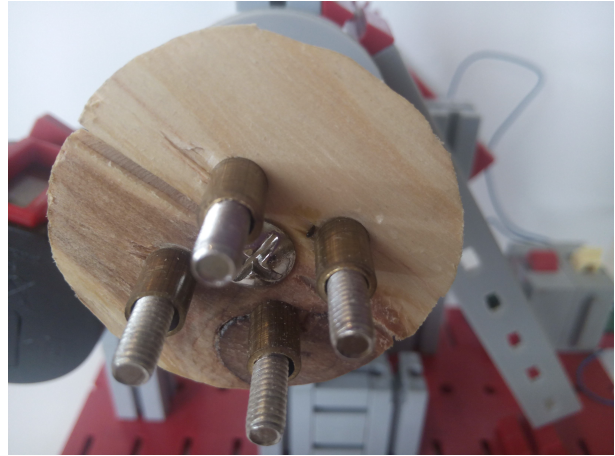
Kontuan hartu behar da imanen kopuru eta tamainaren aukeraketak baldintzatuko duela erabat sorgailu osoaren diseinua, harilaren dimentsioak eta fluxu dentsitatea baldintzatzen dituelako hain zuzen ere.

3.2. HARILEN ERAIKUNTZA

Imanen aukeraketa egin ondoren, harilen eraikuntza egin behar izan zen. Prozesua azkarragoa egiteko eroalea biltzeko makina sinplea prestatu zen, motore elektriko txiki bat erabiliz kablea biltzeko, eta eta birak kontatzeko sistema batekin. Harilen tamaina zehatza izateko, molde prestatu zen harilaren barne zuloaren neurrikoa 4 mm-ko diametroko torlojoekin, eta neurri zehatzeko bi xafla alboetan .



(a)

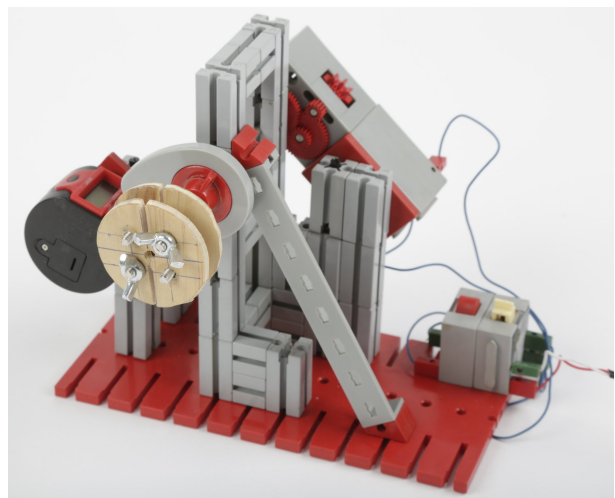


(b)

Irudia 3.2.: Harilak egiteko moldea

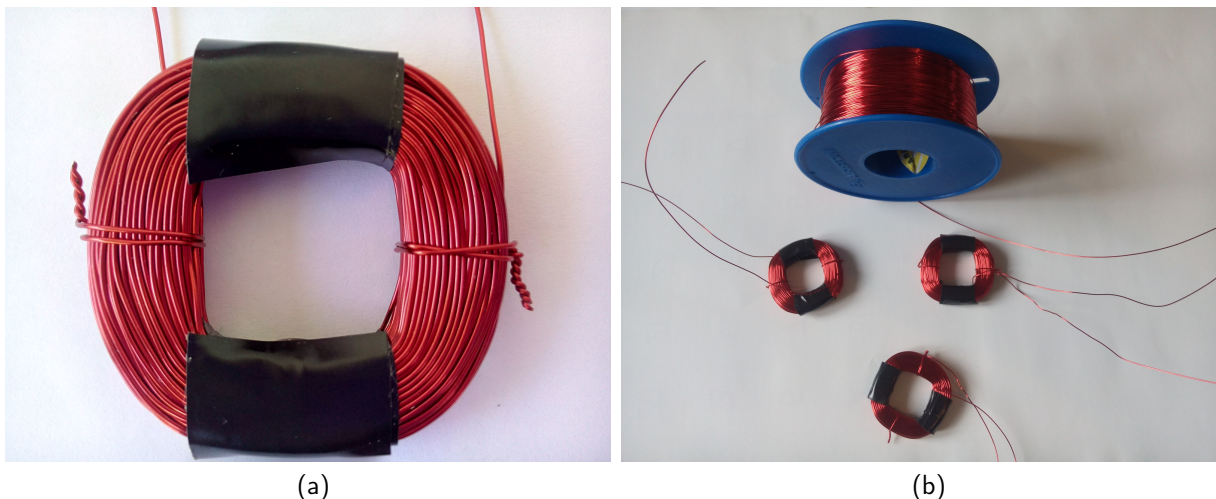


(a)



(b)

Irudia 3.3.: Harilkatzeko makina



Irudia 3.4.: Harilak

3.3. ERROTOREKO DISKOAK

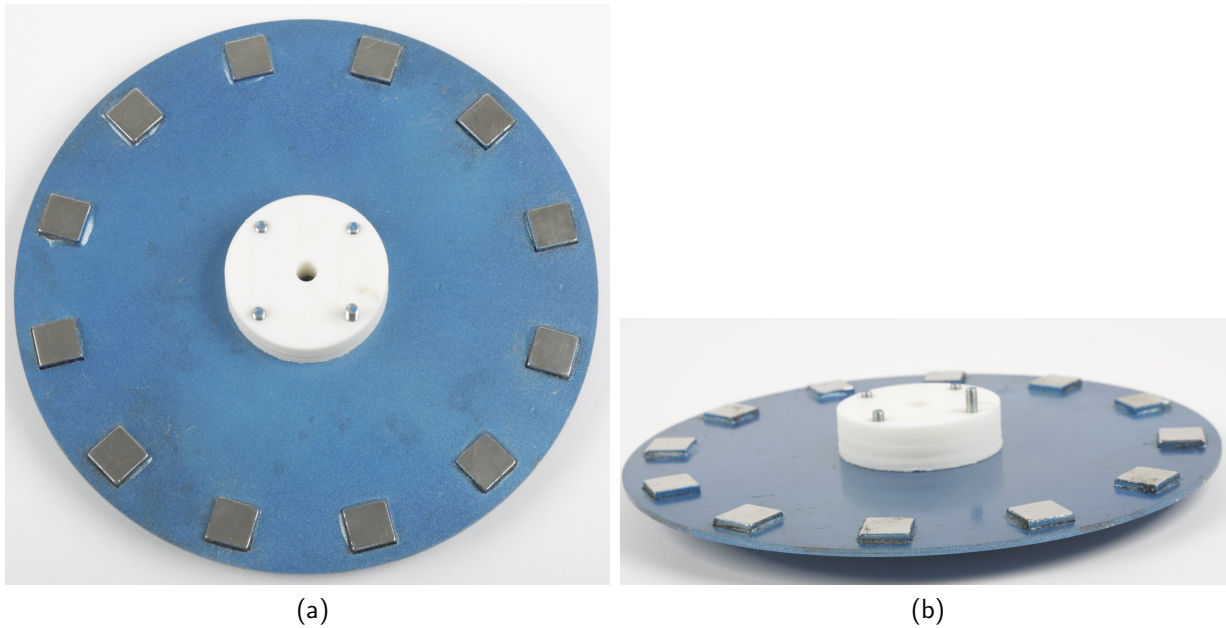
Bi diskoak egiteko 1,5mm-ko bi xafla erabili genituen, elkarrekin soldaturik. Mozteko eta mekanizazioa egiteko laser bidezko makina erabili zen. Bi xafletak batean imanak hartzeko zuloak prestatu ziren, bere kokatzea errazagoa izateko.

Diskoak egiterakoan kontuan hartu behar da erabiliko den biraketa sistema (ardatza-abatza), diskoek eraman behar duten euskarria ere era egokian jartzeko. Gure kasuan 15mm-ko zilindro zulatu bana jarri zaio ardatz bakoitzari (ondoren ikusi denez, hau ez da izan sistemarik egokiena biraketa mugimenduko sistema egiteko).

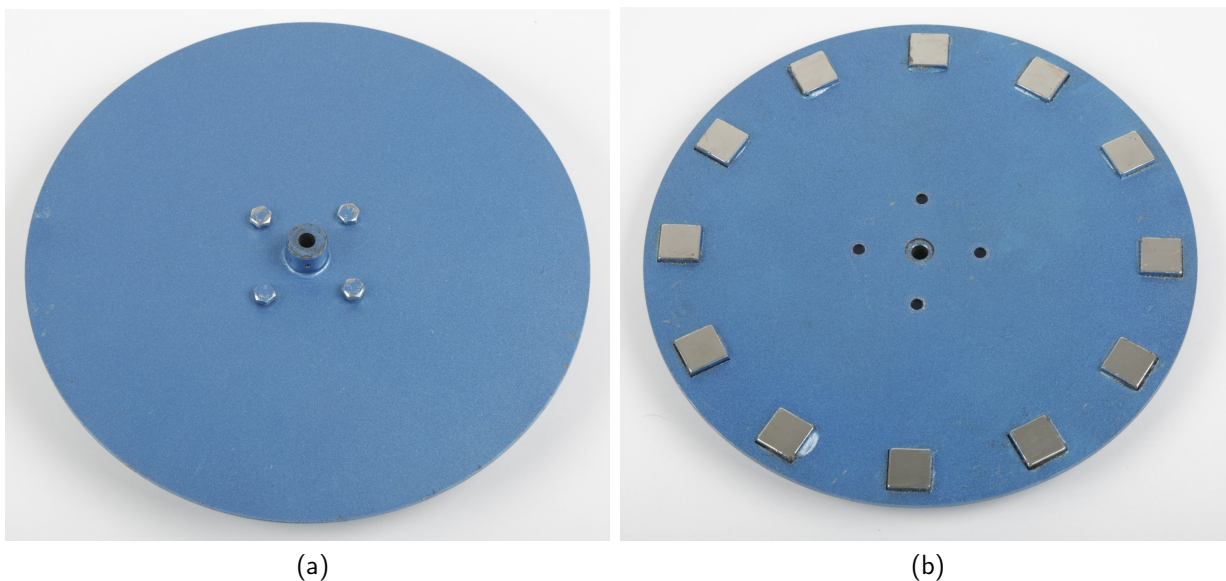
Bukatzeko imanak kokatu, kontrako polaritatea errespetatuz, (polaritateak identifikatzeko ipar orratza erabili, edo imanen alde nagusiak elkarri hurbilduz, alderatze indarra edo erakarpen indarra eragiten duen begiratzuz). Imanak diskoetan finkatzeko epoxi lekedaz itsatsi egin dira.

Diskoen arteko distantzia zehatza izateko, neurri jakineko plastikozko pieza bat prestatu zen.

Disko bakoitzeko alde batean, erdigunean, 1,5mm-ko zilindro zulatua finkatu zen, ardatzarekin lotura egin ahal izateko.



Irudia 3.5.: Errotoreko diskoa imanekin



Irudia 3.6.: Diskoak eta zilindro txikia

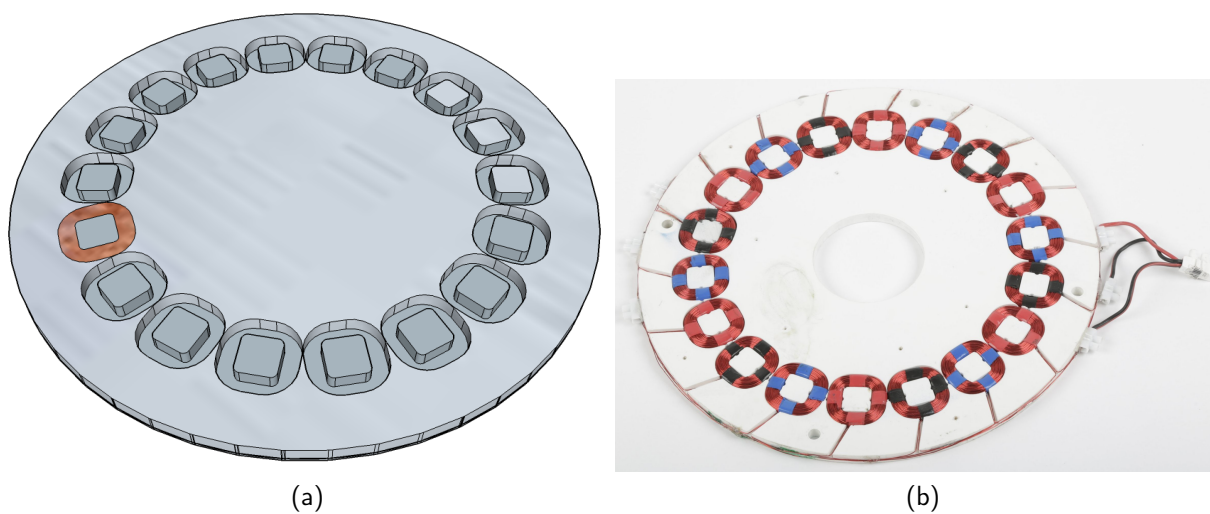
3.4. ESTATOREA

Harilen estatorea egiteko erretxina eta beira-zuntza erabiltzen da normalean honelako sorgailuetan, behin betiko estatorea egin nahi denean. Gure kasuan, prototipoa egiteko zerbait definitiboa ez izatea bilatu zen. Horrela, fresatutako plastikozko estatorea egitea

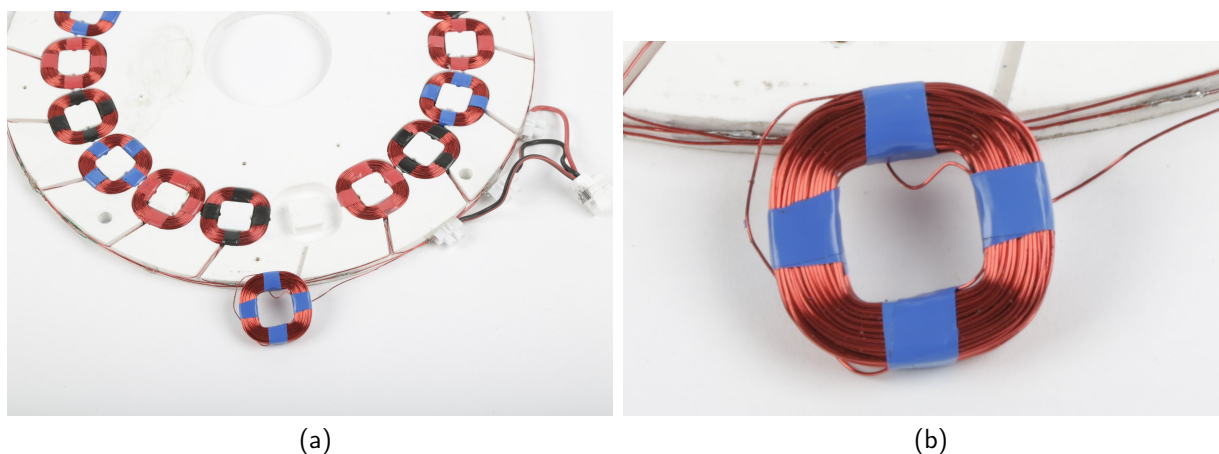
erabaki zen, harilak sartu eta atera ahal izateko. Harilen neurriak hartuta, plastikozko xaflaren mekanizazioa egin zen fresatzaile baten bitartez.

Harilak kokatuta zeudenean, beraien arteko konexioa egin zen, faseko serie-paraleloa errespetatuz. Puntu honetan oso garrantzitsua da faseko harila bakoitza eta hauen sarrerako eta irteerako haria ondo identifikatuta izatea. Serie konexioan, harila baten bukaera bestearen hasierarekin konektatu behar da. Baita ere konprobatu behar da harilketa norabidea, berdina izatea harilak kokatzerakoan.

Bukatzeko, faseen konexioak errazagoak egiteko konexio borneak jarri ziren



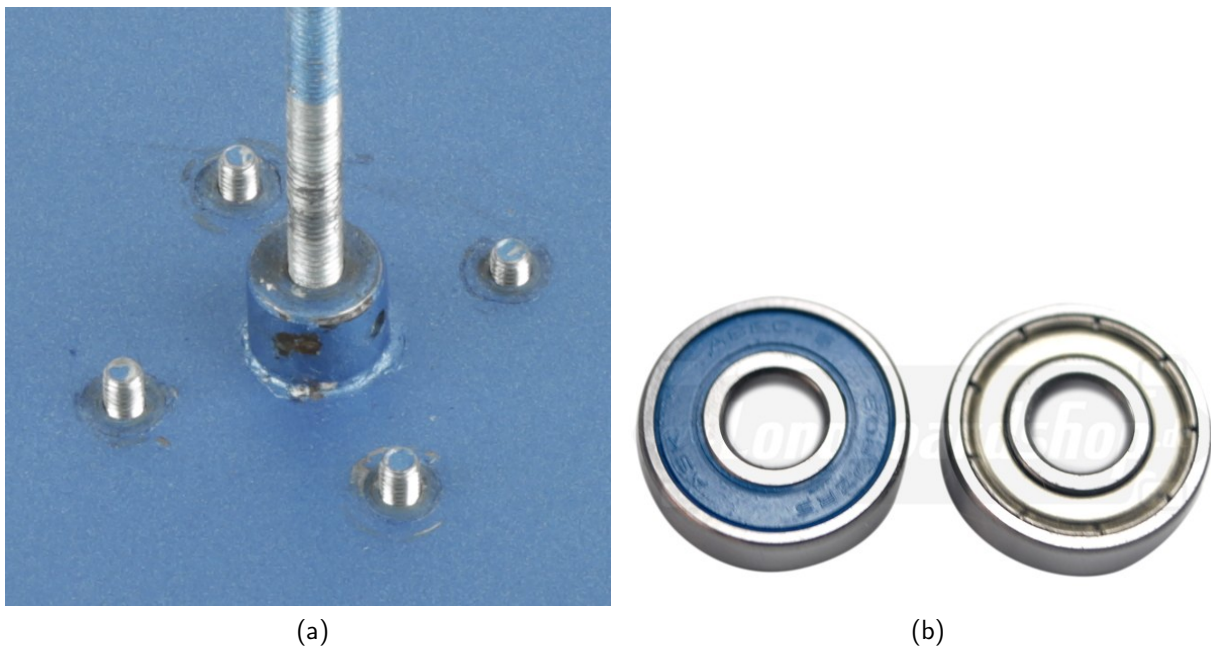
Irudia 3.7.: Estatorearen diseinua eta argazkia



Irudia 3.8.: Estatorea eta harilak.

3.5. ARDATZA ETA BIRAKETA SISTEMA

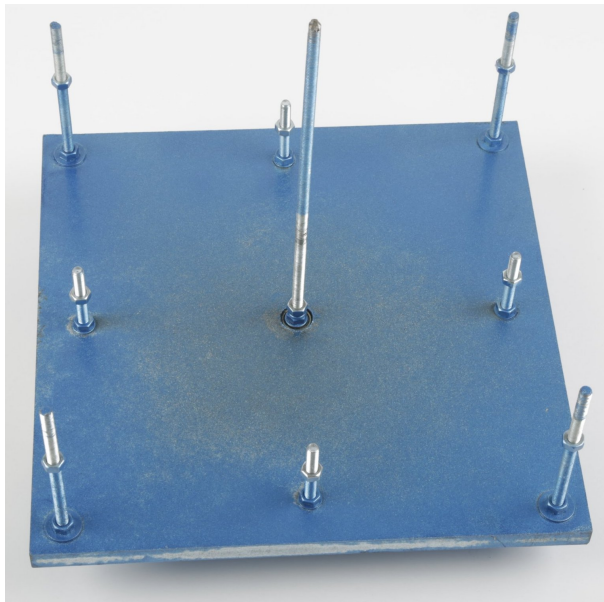
Ardatz bezala 8mm-ko ziri harilkatua aukeratu da (ondoren konprobatu ahal izan zen diametro hori txikia zela, eta sistema hau ez zela egokiena). Diskoak ardatzari lotzeko zirindola eta azkoina erabili dira ziri harilkatuan. Sistema birak eman ahal izateko, errodamendu planoak euskarriari finko lotuta jarri zen.



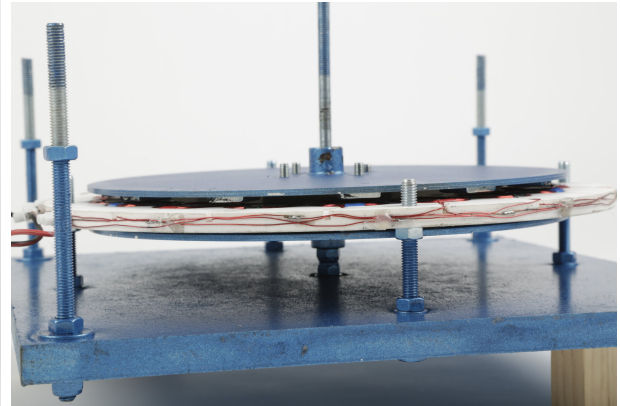
Irudia 3.9.: Ardatza eta errodamenduak.

3.6. EUSKARRIA

Euskarri bezala egurrezko xafla bi erabili dira . Bertan errodamenduak, estatorea eta beraien arteko loturak kokatu ahal izateko fresagailuan mekanizatu egin dira.



(a)

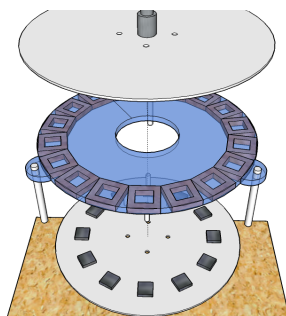


(b)

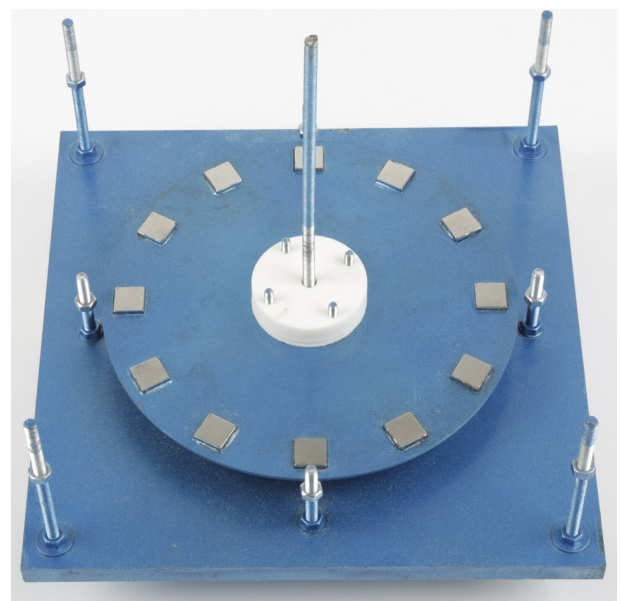
Irudia 3.10.: Euskarria ziri harilkatuen bitartez

3.7. MUNTAIA

Bukatzeko, sistema osoaren muntaia egin zen. Puntu honetan kontuz ibili behar da diskoetako imanen erakarpen indarrarekin.

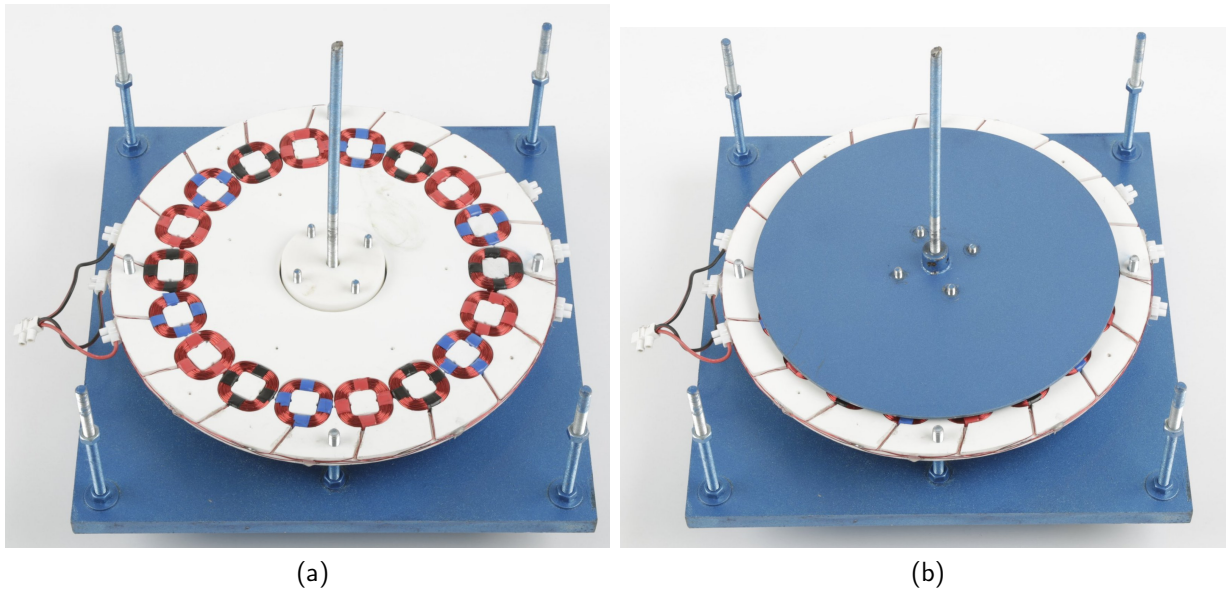


(a)



(b)

Irudia 3.11.: Muntaia II



Irudia 3.12.: Muntaia II

3.8. SAIKUNTZA

Prototipoa bukatua eta doitu egon denean, laborategian saiakuntza proba sinplea egin da. Honen bitartez, teorikoki egindako kalkuluak eta ondoren, sorgailua martxa errealean lortzen diren balioak antzekoak diren edo ez konprobatu nahi da. Lortzen diren emaitzekin analisia egin ondoren, ondorioak atera daitezke diseinua hobetzeko edo kalkuluetan izandako akatsak zuzentzeko.

Saiakuntza proba egiteko, sorgailua laborategiko motore batekin lotu da ardatz finko baten bitartez. Motorearen parametroak kontrolatu daitezke kotsola batetik, era honetan abiadura poliki igotzen da eta sorgailuan emandako tentsio balioak jasotzen dira. Proba sorgailuari karga konektatu gabe eginda daude *hutsen*. Sorgailuari karga konektatuz gero, beste balio batzuk agertuko ziren.

Irteerako tentsioa polimetroa eta osziloskopioaren bitartez neurtzen dira. Jasotako balioak ondorengo 3.1. taulan agertzen dira. osziloskopioaren bitartez konprobatzen da irteerako seinalearen forma ia sinusoidala dela.

Beste alde batetik, sorgailuaren parametroak finkatuta, abiadura desberdinetan induzitzen den i_{ee} bitartez, sorgailuaren irteerako tentsioaren balio teorikoak kalkula ditzakegu. Horretarako ϵ indar elektroeragilea kalkulatzeko erabiltzen de formularen, abiadura balio ezberdinak txertatuz da eta beste parametroak konstante mantentzen direla. Lortzen diren balio teorikoak honako hauek izan dira (3.2. taula)

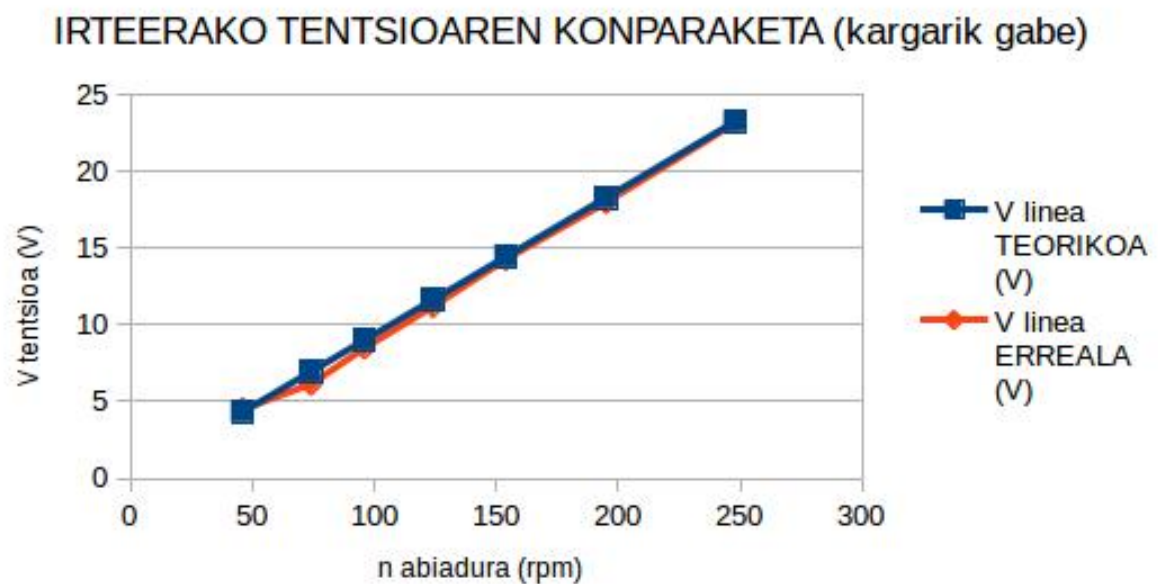
Taula 3.1.: Irteerako tentsioaren balio errealak

abiadura n (rpm)	Irteerako tentsioa V_{fase} (V)	Irteerako tentsioa V_{linea} (V)
46	2,4	4,5
74	4	6,14
96	5	8,5
124	6,5	11,2
154	8,1	14,3
195	10,4	18
248	13,2	23,2

Taula 3.2.: Irteerako tentsioaren balio teorikoak

abiadura n (rpm)	Irteerako tentsioa V_{fase} (V)	Irteerako tentsioa V_{linea} (V)
46	2,5	4,3
74	4,0	7,0
96	5,2	9,0
124	6,7	11,7
154	8,4	14,5
195	10,6	18,3
248	13,5	23,3

Grafiko batean kokatzen baditugu balio hauek konparaketa egiteko ikus dezakegu kalkulu teorikoan lortutako balioak eta neurtutako balio errealak oso antzekoak direla. Ondoko 3.13. grafikoan ikus daiteke alde txikia dagoela.



Irudia 3.13.: Balio teoriko eta errealen arteko konparaketa

4. AURREKONTUA

4.1. AURREKONTUAREN PARTIDAK

Aurrekontuan, prototipoa egiteko erabilitako materialen kostua eta piezak egiteko erabilitako esku lanaren kostua sartu da. Bi partida desberdinetan egin da kalkulua, alde batetik materialak: imanak, kobrezko haria..., eta bestetik tailerretako kostuak piezak egiterakoan: mekanizazioa, fresaketa, 3d inprimaketa...etab.

Aurrekontu honetan ez da kontuan hartu ikerkuntza, kalkulu eta diseinurako edo dokumentu hau sortzeko erabilitako denboraren kostua, ingeniariaren lana hain zuzen ere.

Azkenik prototipoaren eraikuntzaren kostua ondorengo tauletan agertzen da:

Taula 4.1.: Materialaren kostua

MATERIALA	KANT.	PREZ. UNIT.	PREZIOA GUZTIRA €
IMAN Q-20-20-02-N	1	1,74	1,74
ALTZAIKUZKO XAFLA 1000mm x 1000m x 1mm	1 m ²	25,61	25,61
KOBREZKO HARIA 500m \varnothing 0,5mm	1	40,56 €	40,56
PLASTIKOZKO XAFLA 500mm x 500mm x 10mm	0,25 m ²	21,02	5,255
EGURREZKO XAFLA 500mm x 500mm x 25mm	0,25 m ²	15,25	3,8125
ALTZAIKUZKO ZIRI ARILKATUZ	2 m ²	4,832	9,664
ERRODAMENDUA \varnothing =8mm	2	4,7	9,4
AZKOINA \varnothing 8mm	48	0,0782	3,7536
ZIRRINDOLA \varnothing 8mm	24	0,0446	1,0704
ARANDELA GROWER \varnothing 8mm	16	0,0295	0,472
EPOXI LEKEDA	1 m ²	4,75	4,75
OKUMEN XAFLA 3mm	0,01 m ²	6,21	0,0621
TORLOJOA \varnothing 4mm	4	0,02	0,08
ZIRRINDOLA \varnothing 4mm	4	0,0446	0,1784
AZKOINA \varnothing 4mm	4	0,135	0,54
KASKILOAK (harilen moldea) \varnothing 4mm	4	7,72	30,88
ESTAINUA	1	12,42	12,42
BORNEAK	4	0,5	2
ZINTA ISOLATZAILEA	1	2,5	2,5
3D INPRIMAKETARAKO MATERIALA	1	67,5	67,5
GUZTIRA MATERIALA			222,25 €

Taula 4.2.: Tailerreko lanen kostua

TAILERREKO ESKU LANA	KANT.	PREZ. UNIT.	PREZIOA GUZTIRA €
DISKOEN MEKANIZAZIOA ETA SOLDAKETA	2 ord	60	120
ESTATOREAREN MEKANIZAZIOA	2,5 ord	60	150
EGURREZKO XAFLAREN MEKANIZAZIOA	0,5 ord	60	30
MOLDEKO XAFLEN MEKANIZAZIOA	0,5 ord	60	30
DISKOEN BEREIZGAILUA 3D INPRIMAKETA	0,5 ord	50	25
HARILEN ERAIKUNTZA	6 ord	30	180
HARILEN KONEXIOA	1 ord	30	30
PIEZEN MARGOKETA	2 ord	30	60
PROTOTIPOAREN MUNTAIA	1 ord	30	30
GUZTIRA TAILERREKO LANA			655 €

Taula 4.3.: Prototipoaren eraikuntzaren kostua.

PROTOTIPOAREN ERAIKUNTZAREN KOSTUA GUZTIRA	PREZIOA GUZTIRA €
MATERIALA	222,248
TAILERREKO LANA	655
GUZTIRA	877,25 €

5. ONDORIOAK ETA ETORKIZUNERAKO LAN ILDOAK

5.1. ONDORIOAK

Lan hau aerosorgailu elektrikoaren inguruko ikerketa teoriko eta praktikoa bezala planteatu da, *e-betez* egitasmo zabalago baten barruan kokatzen dena. Sorgailu elektriko baten diseinuan ematen diren urratsak burutu dira: ikerketa, kalkuluak, planoak eta eraikuntza eta saiakuntza. Zentzu honetan, lanaren jarduera arrakastatsua izan dela esan daiteke prozesu osoa burutu ahal izan delako. Dena dela, lehen hurbilpen bat bezala ikusi behar da, segida izan dezakeen lana.

Sorgailu elektrikoaren egiteko dauden posibilitate guztien artean iman iraunkorreko aukeratzekoan posiblea izan da sorgailuaren diseinua egin ondoren osagaiak eraiki eta muntatu egitea. Azkeneko saiakuntzan konprobatu ahal izan denez, kargarik gabe ematen zituen baloreak ez zeuden teorikoetatik oso urrun.

Lana oso baliagarria izan da konturatzeko diseinu teoriko batetik, eremu praktikora pasatzeko salto handia dagoela eta gehienetan, prozesu horretan lan teoriko eta praktikoa artean desdoikuntzak agertzen direla. Hortaz, teoriarik paper zuriaren gainean egokiak ziruditen kalkuluak eta emaitzak, desegokiak suertatu dira sorgailua eraikitzearen. Beste alde batetik, prozesuaren hasieran hobesten ziren irtenbideak, ikerketa eta garapen prozesuaren ondorioz jasotako esperientziari esker, bukaeran ez dira irtenbiderik «onenak» bezala ikusi, lanaren hobekuntzarako bideak zabalduz.

Sorgailu elektriko baten diseinuan, parametro asko definitu behar dira. Kontuan hartu behar diren parametro guztiak erlazionatuta daude beraien artean, beraz, parametroren bat aldatzekotan besteetan eragin zuzena daukanez, hauek ere aldatzen dira. Horren adibidea izan da harilen eraikuntza, bere tamainak baldintzatzen du imanaren kokapena eta honek eragina dauka eremu magnetikoaren fluxuan eta azken finean hariletan induzitutako indar elektroeragilea. Komenigarria litzateke prozesuari hasiera emateko, eta lehen kalkuluak eginda daudela, harila bat eraikitzea eta bere dimentsioak ondo zehaztea, diseinuarekin aurrera egin ahal izateko.

Hasieran garrantzirik gabekoa edo sinplea ikusten zen biratze sistema, bukaeran konplikazioak sortu ditu. Biraketa mugimendua egonkorra, dardararik gabekoa eta arina (marruskadurarik gabekoa) izan behar da. Beraz, nahiz eta kalkulu elektrikoekin zerikusirik ez izan, biratze sistemari erreparatu behar zaio hasiera batetik.

Lana baliagarria izan da, baita ere, ikusteko energia elektrikoaren sorkuntza oso prozesu sinplea bezain fidagarria dela. Teknologia baxuko osagaiak erabiliz, energia elektriko sortzeko makinak egin daitezke, konplikazio handirik gabe. Zentzu honetan, eta iman iraunkorreko sorgailuei esker, azken urteetan asko garatu da potentzia txikiko sorgailuen eraikuntza mundu mailan. Energia eolikoaren munduan baztertuta zegoen mikro eta mini eolikoaren sektoreari bultzada handia emanez. Potentzia baxu eta ertaineko sorgailu

elektrikoak sortzeko behar den teknologia sinple, merkea eta eraginkorra da, edozein herrialderen eskura egon daitekeena.

Nahiz eta niretzat proiektua aurrera eramatea erronka handia izan (batez ere nire ohiko lanarekin uztartzea), arlo pertsonalean ere oso lan baliagarria eta interesgarria suertatu zait. Lana burutu ahal izateko sartutako denbora eta esfortzu guztia merezi izan du, egin didan ekarpena oso aberasgarria izanik, bai aspektu akademiko zein pertsonalean. Gaitasun asko jarri behar izan ditut martxan lana egin ahal izateko, baita memoriaren kaxoi batean hautsez betetakoak ere. Bukatzerakoan, egindako lanaz harro egoteko sentsazioa izan dut, hobetzeko puntuak badaudela ukatu gabe.

Aukera eman dit ere Open Source-ren mugimenduaren barruan software librearen erabilera garapena egiteko. Proiektua aurrera eramateko erabilitako software gehiena software librea izan da: Libre Office, Calc eta Writer testua lantzeko, LYX dokumentu hau sortzeko, Gimp eta gThumb argazkiak editatzeko, Firefox interneten nabigatzeko, eta LibreCad zenbait plano egiteko. Baina beti ez da posiblea izan, eta beste motatako softwarea ere erabili behar izan dut: Google Sketchup eta Autodesk Inventor diseinuak egiteko

Ezin dut aipatu gabe utzi nahi aspektu linguistikoa, dokumentu hau euskaraz egitea ez da kasualitatea izan. Proiektua egiteko erabakia hartu nuen momentutik argi neukan euskaraz egin behar nuela, duela 22 urte ingeniari-tza teknikoko titulua ateratzerakoan izan ez nuen posibilitatea, orain ezin nuen pasatzen utzi. Baina lana egiterakoan konturatu naiz 22 urte pasa diren arren, ingeniari-tzaren munduan euskararen garapenak hutsune nabarmenak dituela oraindik ere aspektu askotan, Euskara hizkuntza ikustezina bihurtzeraino. Zoritzarrez, euskaraz egiten den gradu amaierako lan bakoitza Euskararen normalkuntzaren aldeko urrats bat bezala ulertu behar da oraindik.

5.2. ETORKIZUNERAKO LAN ILDOAK

Aurrera begira, segida izan dezake lan honek. Ondoren aipatzen dira zeintzuk izan daitezke sakontzeko edo garatzeko aspektuak:

- ▷ Sorgailuaren optimizazioa ondorengo aspektuak birplanteatuz:
 - Iman eta harilen forma eta dimentsioak berriz aztertu, eta beste tamaina batzuk erabiliz diseinuak garatu.
 - Harila eta iman kopuruaren arteko erlazioaren azterketan sakondu, beste kopuru konbinazio batzuk bilatuz.
 - Ardatza eta biraketa sistemaren hobekuntza, baita honekin batera euskarriarena.
 - Sorgailu osoaren dimentsioak murrizteko azterketa egin.

- ▷ Kalkuluen prozesuan dimentsionamendu optimoa kalkulatzeko sistemak garatu: Zenbait parametro (iman eta harilen tamaina, beraien arteko distantzia, errore eta estatorearen dimentsioak..) erlazionatuta daude beraien artean. Parametroren bat aldatzerakoan, besteengan sortzen duen eragina kontuan hartuz, kasuan kasuko parametro hauen *arteko puntu optimoa* bilatzeko sistema matematikoa garatzea.
- ▷ Emaitzen azterketa egin ahal izateko saiakuntza prozesu sakonagoa garatu, beti ere, turbina eta artezketa-erregulazio sistemarekin batera. Sorgailu elektrikoaren funtsa, sistema osoago baten barruan kokatu behar da. Beraz, sorgailuaren funtzionamendu egokia ikusia ahal izateko, derrigorrez sistema osoa jarri behar da martxan eta sistema osoaren erantzuna aztertu behar da.
- ▷ Egitasmoaren izaera didaktikoa eta sozialean gehiago sakondu:
 - Ikasgelan sartzeko materiala sortu. Ingeniari elektriko batentzat, karga sinboliko handia duen egitasmoa da hau. Sorgailu elektrikoaren eraikuntza, ingeniariak elektrikoaren *genesia edo hasiera* kontsideratu daiteke. Laugarren mailako ingeniariak ikasten ari den orok bizi beharreko esperientzia da sorgailu elektrikoaren diseinua eta eraikuntza.
 - Energiaren alorrean gure gizarteak duen erronkaren aurrean, energia berriztagarrien erabileran kontzientziario lana egiteko posibilitateak garatu, energia eolikoa edo energia hidraulikoaren bitartez.

6. BIBLIOGRAFIA ETA INFORMAZIO ITURRIAK

Bibliografia

- [1] D. wind power association windpower.org, “Descripción de las variaciones del viento,” 2015. [Online]. Available: <http://www.windpower.org>
- [2] E. M. de navarra, “Elementos magneticos de navarra enpresak emandako informazioa.” [Online]. Available: <http://www.elementosmagneticos.com/content/utilidades-y-documentos-de-interes>
- [3] E. O. C. de la energía, “El observatorio crítico de la energía,” 2015. [Online]. Available: <http://observatoriocriticodelaenergia.org/>
- [4] P. ACTION, “Practical action.” [Online]. Available: <http://practicalaction.org/document-library-7>
- [5] AEE, “Asociación empresarial eolica.” 2015. [Online]. Available: <http://www.aeeolica.org/es/sobre-la-eolica/la-eolica-en-espana/>
- [6] AMT, “Energia eredu- crashoil.” [Online]. Available: <http://crashoil.blogspot.com.es/>
- [7] ———, “El papel del neodimio en la generacion eólica,” 2012. [Online]. Available: <http://crashoil.blogspot.com.es/2012/01/el-papel-del-neodimio-en-la-generacion.html>
- [8] APPA, “Asociacion de empresas de energia renovables.” [Online]. Available: <http://www.appa.es/>
- [9] D. Bartmann, D. Fink, and M. Sagrillo, *Homebrew wind power: a hands-on guide to harnessing the wind*. Buckville Publications LLC, 2009.
- [10] G. Bueno Mendieta, “Etorkizun energetikoa euskal herrian. euskal trantsizio energetikoaz ikastaroa,” *Euskal trantsizio energetikoaz Ikastaroa*, 2010.
- [11] M. Cistelecan, M. Popescu, and M. Popescu, “Study of the number of slots/pole combinations for low speed permanent magnet synchronous generators,” in *Electric Machines & Drives Conference, 2007. IEMDC'07. IEEE International*, vol. 2. IEEE, 2007, pp. 1616–1620.
- [12] EHU, “Elektrizitatea eta magnetismoa,” 2015. [Online]. Available: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisika/elecsmagnet/elecsmagnet.htm>
- [13] EVE, “Energia hiztegia,” 2015. [Online]. Available: <http://www.eve.es/La-energia/Hiztegia.aspx>

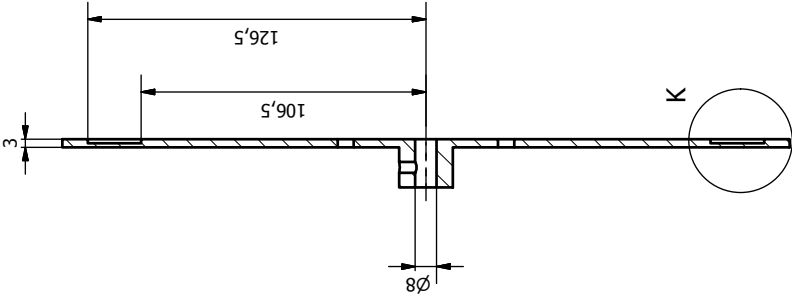
- [14] W. Fei, P. C.-K. Luk, and K. Jinupun, "Design and analysis of high-speed coreless axial flux permanent magnet generator with circular magnets and coils," *IET electric power applications*, vol. 4, no. 9, pp. 739–747, 2010.
- [15] GAINDEGIA, "Euskal herriko energiaren datuak," 2014. [Online]. Available: <http://www.datuak.net/dataset/energia>
- [16] A. Herraiz Alvaro, "Elektrizitatea ulertzeko ariketak," 2014.
- [17] HKCM, "Hkcm engineering magnets," 2015. [Online]. Available: www.hkcm.de
- [18] HOMEPOWER, "Wind power web," 2015. [Online]. Available: <http://www.homepower.com/wind-power>
- [19] S. Hosseini, M. Agha-Mirsalim, and M. Mirzaei, "Design, prototyping and analysis of a low-cost disk permanent magnet generator with rectangular flat-shaped magnets," *Iranian Journal of Science and Technology*, vol. 32, no. B, p. 191, 2008.
- [20] IDAE, "Atlas eólico de españa," 2015. [Online]. Available: <http://atlaseolico.idae.es/>
- [21] IEA, "International energy agency," 2015. [Online]. Available: <http://www.iea.org/>
- [22] M. J. Kamper, R.-J. Wang, and F. G. Rossouw, "Analysis and performance of axial flux permanent-magnet machine with air-cored nonoverlapping concentrated stator windings," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 44, no. 5, pp. 1495–1504, 2008.
- [23] K. Latoufis, G. Messinis, P. Kotsampopoulos, and N. Hatziaargyriou, "Axial flux permanent magnet generator design for low cost manufacturing of small wind turbines," *Wind Engineering*, vol. 36, no. 4, pp. 411–432, 2012.
- [24] M. S. Magnufacturing, "Magnet calculation tools." [Online]. Available: <http://www.magnetsales.com/Design/Tools1.htm>
- [25] A. Mahmoudi, S. Kahourzade, N. A. Rahim, H. W. Ping, and M. N. Uddin, "Design and prototyping of an optimised axial-flux permanent-magnet synchronous machine," *IET Electric Power Applications*, vol. 7, no. 5, pp. 338–349, 2013.
- [26] A. Mahmoudi, N. Rahim, and W. Hew, "Axial-flux permanent-magnet machine modeling, design, simulation, and analysis," *Scientific Research and Essays*, vol. 6, no. 12, pp. 2525–2549, 2011.
- [27] J. Mur Amada, "Curso de energia eolica departamento de ingeniería eléctrica de la universidad de zaragoza," *Master Europeo en Energías Renovables y Eficiencia Energética*, 2015. [Online]. Available: <http://www.windygrid.org/manualEolico.pdf>
- [28] NASA, "Nasa surface meteorology and solar energy," 2015. [Online]. Available: <https://eosweb.larc.nasa.gov/>
- [29] J. Navasquillo Hervas, "Energia eolikoari buruzko web orrialdea," 2015. [Online]. Available: <http://www.uv.es/navasqui/>

- [30] OBEKI, "Motores y generadores eléctricos especiales," 2015. [Online]. Available: <http://www.obeki.com/productos.html>
- [31] A. M. Ocariz Larrea, "Elektromagnetismoaren oinarri fisikoak," 2009.
- [32] J. A. Oria, "Energia eredu," 2013. [Online]. Available: <http://www.naiz.eus/eu/actualidad/noticia/20130923/energia-eredu>
- [33] H. Piggott, *Manual para la autoconstruccion de generadores Eólico*, Bajatec, Ed. Bajatec, 2009.
- [34] —, "Scoraigwind," 2015. [Online]. Available: <http://www.scoraigwind.com/http://scoraigwind.co.uk/>
- [35] V. POWER, "V3 power-renewable energy cooperative." [Online]. Available: <http://v3power.co.uk/>
- [36] E. RENOVABLES, "El periodismo de las energía limpias," 2015. [Online]. Available: <http://www.energias-renovables.com/>
- [37] B. Research-EHU, "Energia eolikoak txikitu egiten du elektrizitate faktura." [Online]. Available: <http://www.basqueresearch.com/new/205>
- [38] J. M. Rodriguez Devis, "Coeficiente de potencia en molinos savonius," *Ingeniería e investigación*, vol. 4, no. 4, p. 62, 1985.
- [39] A. Urresti, "Eredu energetikoa eta frackinga," 2014. [Online]. Available: <http://www.euskalnatura.net/harian/erreportajeak/item/eredu-energetikoa-eta-fracking-a>
- [40] VAWT, "Maquinas eólicas de eje vertical web." [Online]. Available: <http://panemona.ml/35-savonius.htm>
- [41] WINSIDE, "Aerosorgailuen enpresa." [Online]. Available: <http://www.winside.com/>
- [42] P. Zubiria Kamino, "Haizearen indarra berriztagarria da, neodinio ez," *ARGIA*, 2012. [Online]. Available: <http://www.argia.eus/argia-astekaria/2309/haizearen-indarra-berriztagarria-da-neodimioa-ez>
- [43] "Energia eolikoari buruzko informazioa," 2015. [Online]. Available: <http://www.offshorewind.biz/>
- [44] "Aerosorgailuei buruzko informazioa." 2013. [Online]. Available: <http://eaglesfeartoperch.blogspot.co.uk/2013/01/homemade-axial-flux-generator-part-1.html>
- [45] P. ACTION, "Practical action," WEB. [Online]. Available: <http://practicalaction.org/document-library-7>
- [46] BLOG, "Ecologiaverde.com. desarrollo sostenible para un mundo mejor," WEB, 2015. [Online]. Available: <http://www.ecologiaverde.com/>

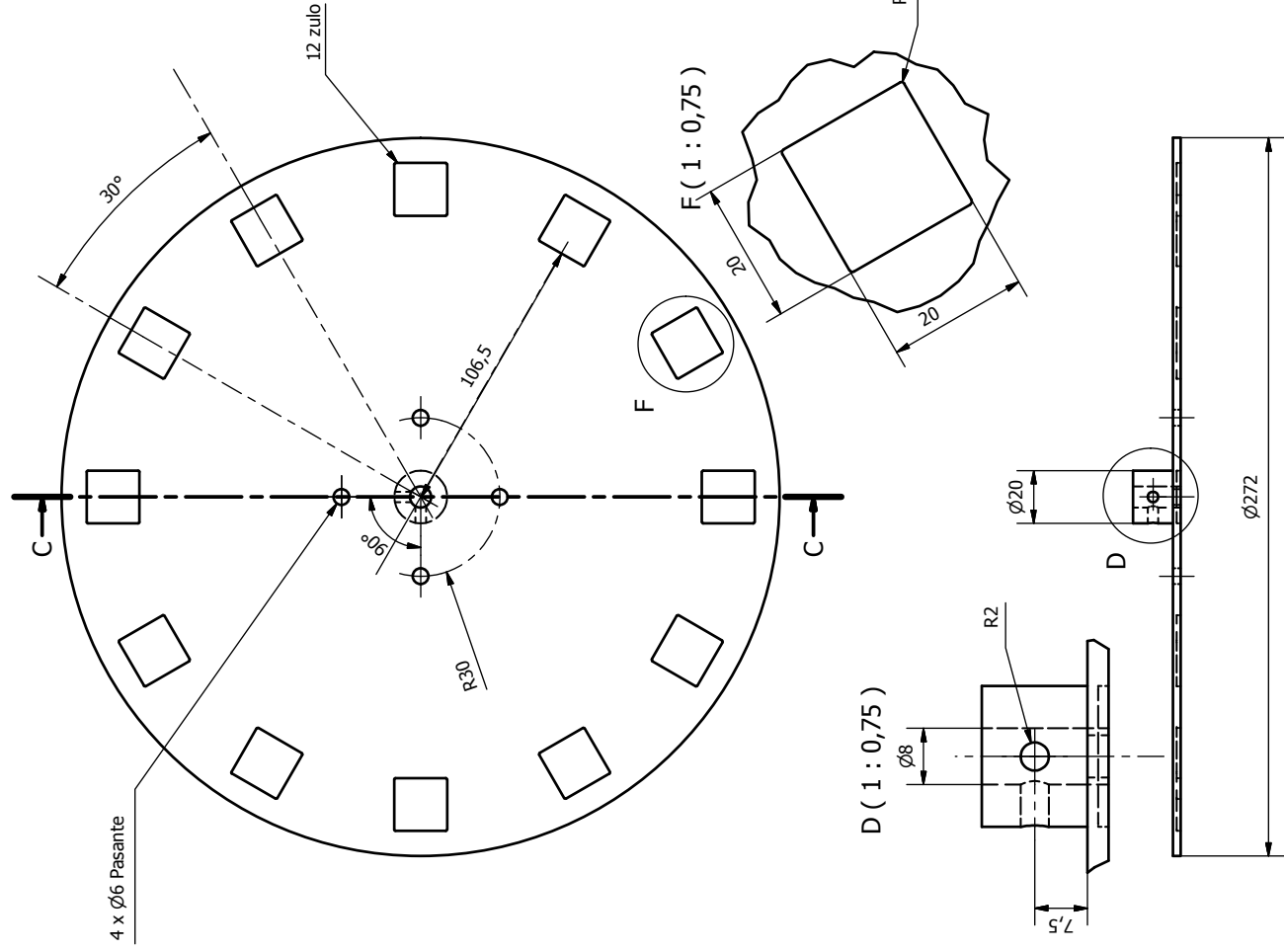
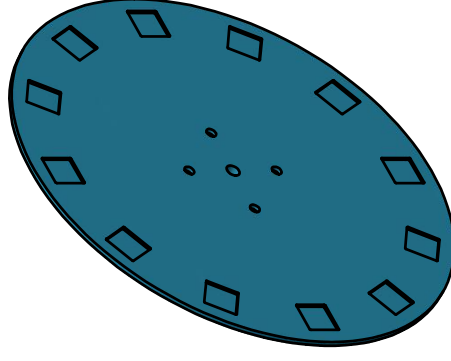
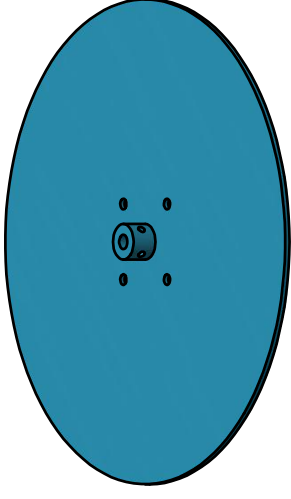
- [47] M. Cistelecan, M. Popescu, and M. Popescu, "Study of the number of slots/pole combinations for low speed permanent magnet synchronous generators," in *Electric Machines & Drives Conference, 2007. IEMDC'07. IEEE International*, vol. 2. IEEE, 2007, pp. 1616–1620.
- [48] R. L. Muñoz, "Generalidades sobre imanes permanentes y su caracterización," *INTI-Cordoba (Instituto Nacional de Tecnología Industrial)*, 2008.
- [49] windstuffnow, "Aerosorgailuak diy," 2015. [Online]. Available: <http://www.windstuffnow.com/main/index>


7. PLANOAK

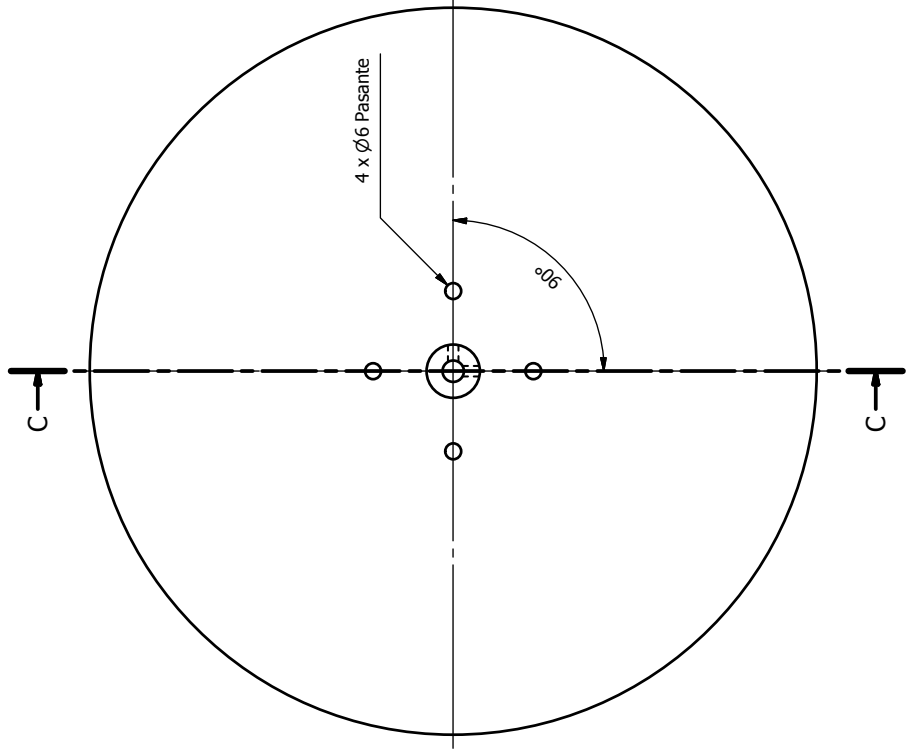
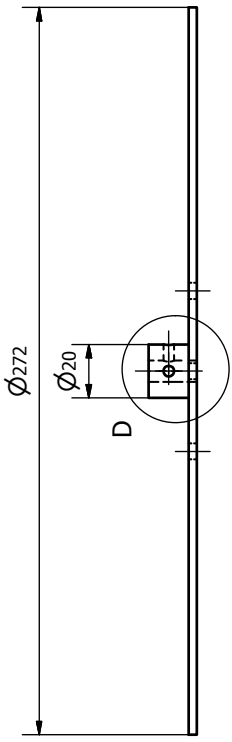
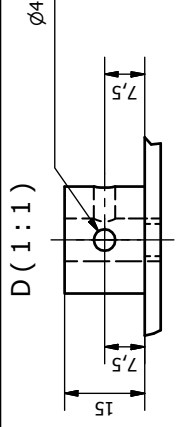
C-C (1:2)



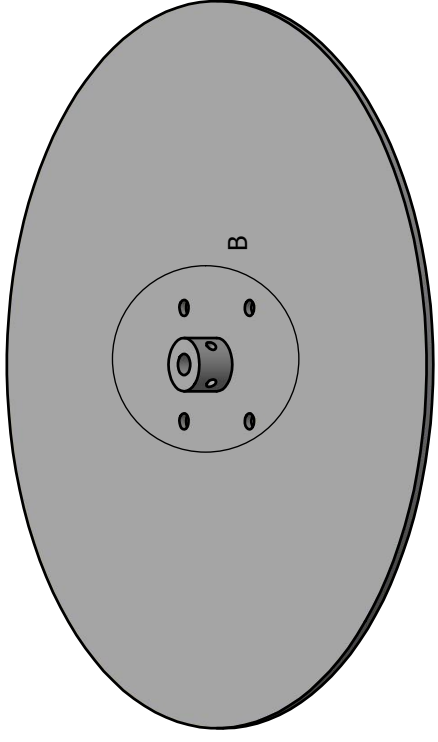
PERSPEKTIBA (1:3)



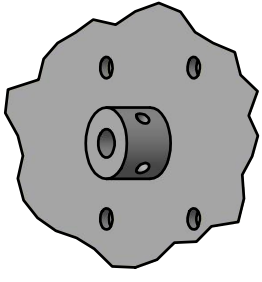
 EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA BILBOKO INDUSTRIAL INGENIARITZA TEKNIKORAKO UNIBERTSITATE ESKOLA		IMAN IRAUNKORREKO FLUXU AXIALEKO AEROSORGAILU BATEAN DISEINUA	
Marraztua:	Izena	ERROTOREKO DISKOA	
Gainbegiratua:	Joseba Llano		
Eskala	Zaltoa		
1:2	Aginako		
Data		Plano Zkia. : 1	
2015-09-04		Plano Kop. : 7	
2015-09-04			
Eskala			
1:2			
Data Kartografikoak			



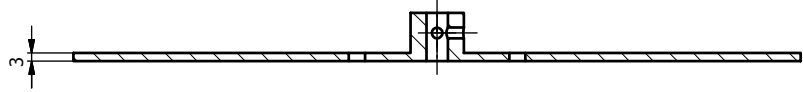
PERSPEKTIBA (1 : 2)





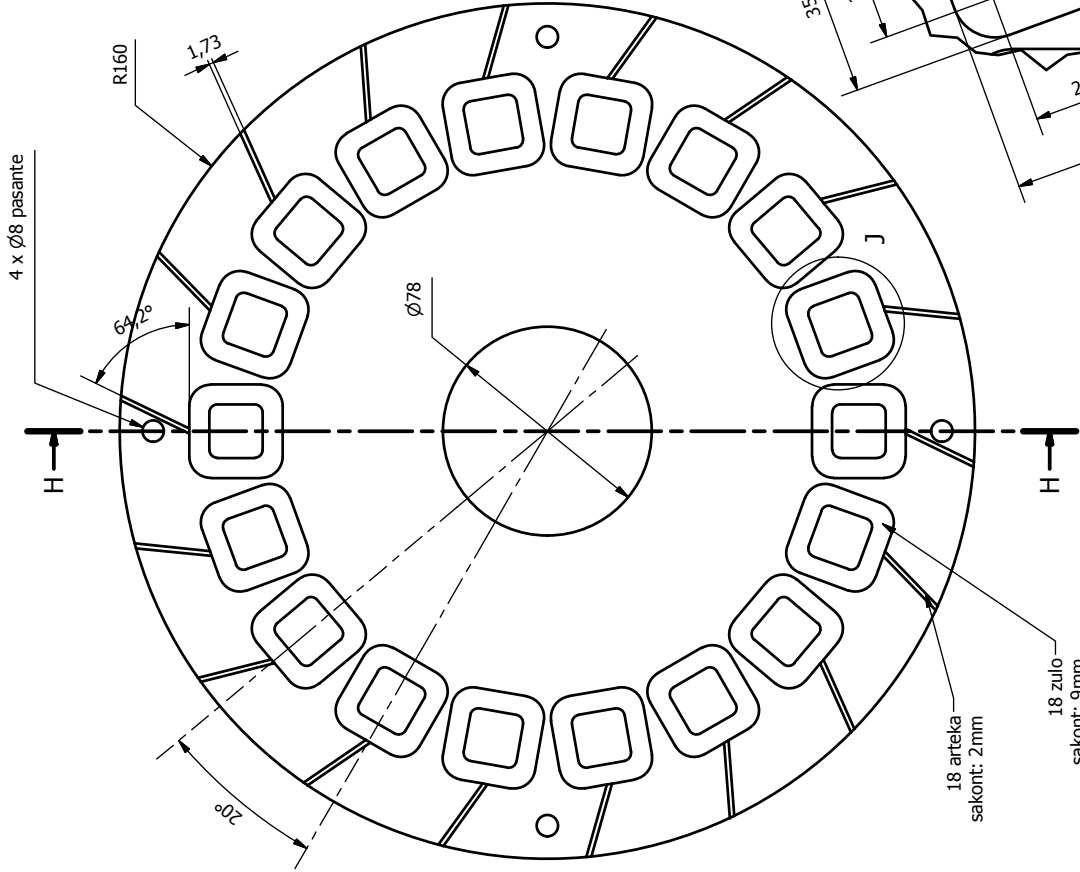
B (1 : 1,5)



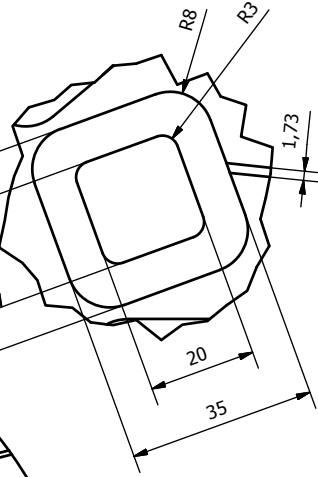
C-C (1 : 2)



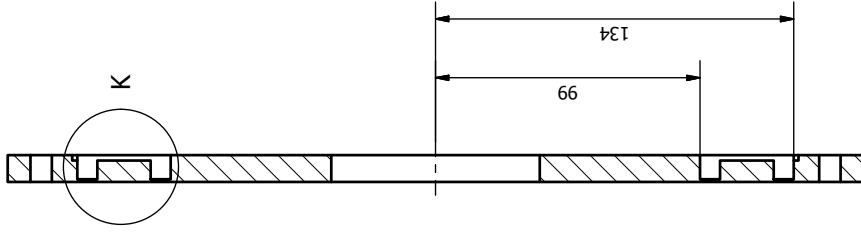
 EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA BILBOKO INDUSTRIAL INGENIARITZA TEKNIKORAKO UNIBERTSITATE ESKOLA		 IMAN IRAUNKORREKO FLUXU AXIALEKO AEROSORGAILU BATEN DISEINUA	
Marraztua:	2015-09-04	Izena	Joseba Llano
Gainbegiratua:	2015-09-04	Zaltoa	Zaltoa Aginako
Eskala 1:2		ERROTOREKO DISKOA IMANEN ZULORIK GABE	
Data Kartografikoak		Plano Zkia. : 2	
		Plano Kop. : 7	



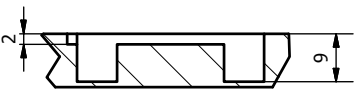
J (1:1)



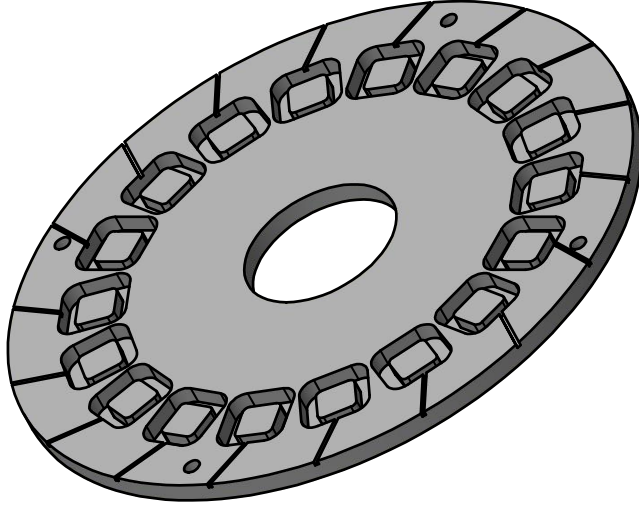
H-H (1:2)




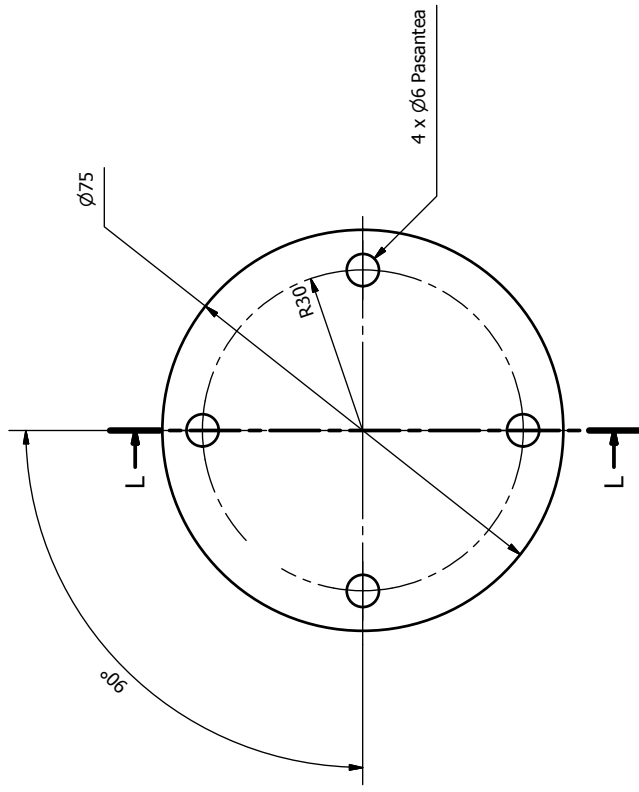
K (1:1)



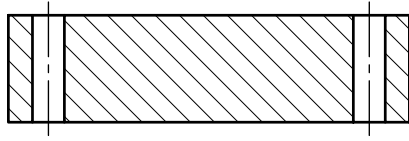
PERSPEKTIBA (1:2,5)



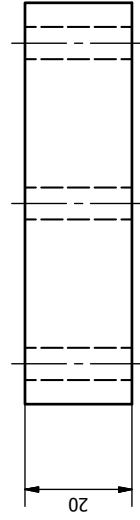
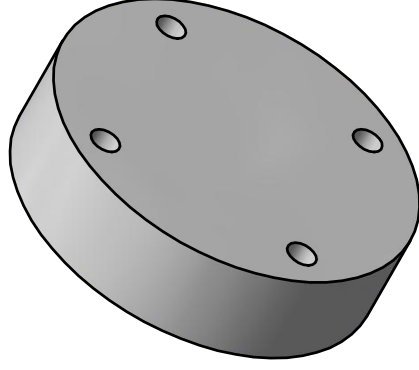
 EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA BILBOKO INDUSTRIA INGENIARITZA TECNORAKO UNIBERTSITATE ESKOLA		IMAN IRAUNKORREKO FLUXU AXIALEKO AEROSORGAILU BATEN DISEINUA	
Data 2015-09-04	Izena Joseba Llano	PLASTIKOZKO ESTATOREA	
Marraztua: 2015-09-04	Zailoa Aginako Zailoa Aginako		
Eskala 1:2		Plano Zkia. : 3 Plano Kop. : 7	
Gainbegiratua: Eskala 1:2		Datu Kartografikoak	





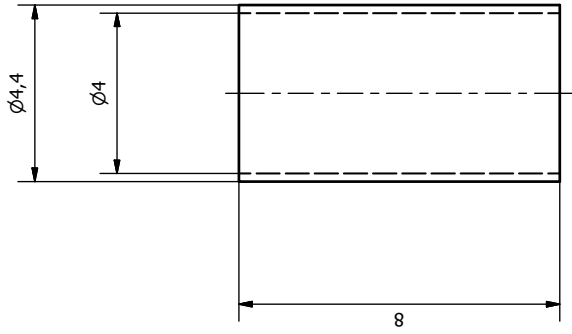
L-L (1 : 1)



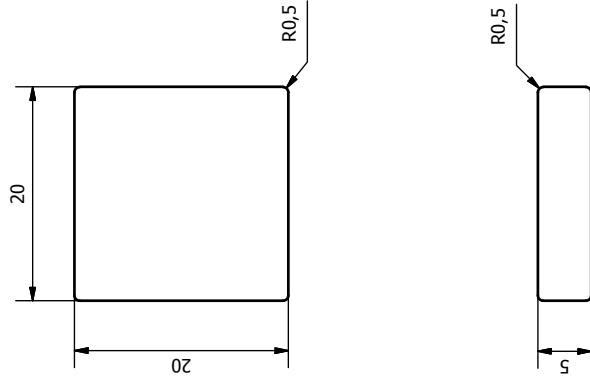
PERSPEKTIBA (1 : 1)



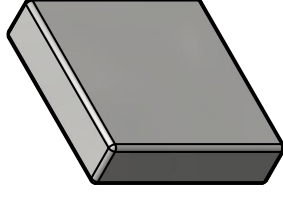
 EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA BILBOKO INDUSTRIA INGENIARITZA TEKNIKORAKO UNIBERTSITATE ESKOLA		 IMAN IRAUNKORREKO FLUXU AXIALEKO AEROSORGAILU BATEN DISEINUA	
Data	Izena	DISKOEN BEREIZGAILUA	
Marratzua:	2015-09-04		
Gainbegiratua:	2015-09-04	Zalao Aginako	Plano Zkia. : 4
Eskala 1:2		Plano Kop. : 7	
Data Kartografikoak			





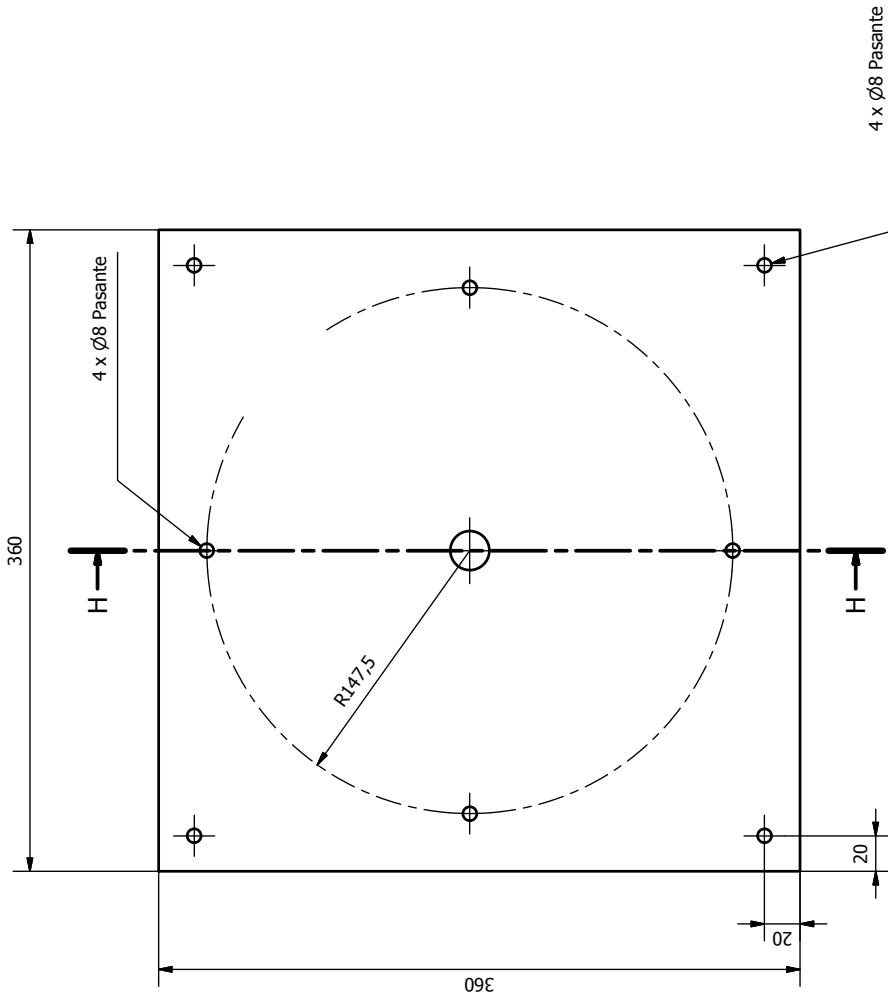
PERSPEKTIBA (8:1)



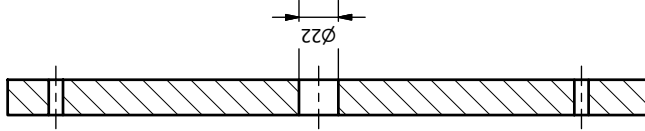
PERSPEKTIBA (2 : 1)



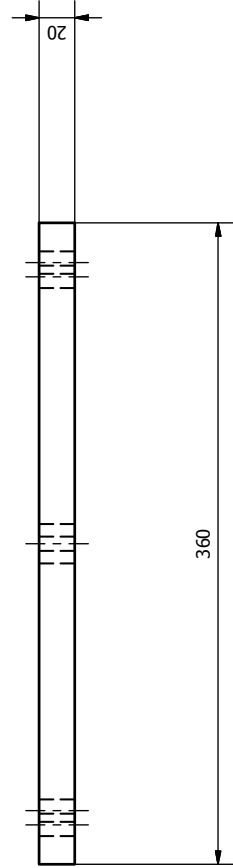
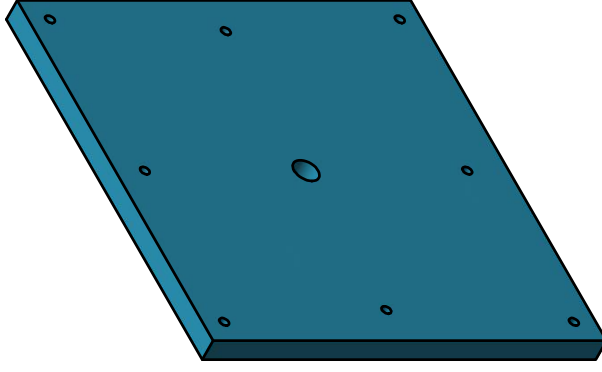
		EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA BILBOKO INDUSTRI INGENIARITZA TECNORAKO UNIBERTSITATE ESKOLA	
		IMAN IRAUNKORREKO FLUXU AXIALEKO AEROSORGAILU BATEN DISEINUA	
Data	Izena	MOLDEKO KASKILOA ETA IMANA	
Marratzua:	2015-09-04	Joseba Llano	Plano Zkia. : 5
Gainbegiratua:	2015-09-04	Zaloa Aginako	Plano Kop. : 7
Eskala			
Data Kartografikoak			




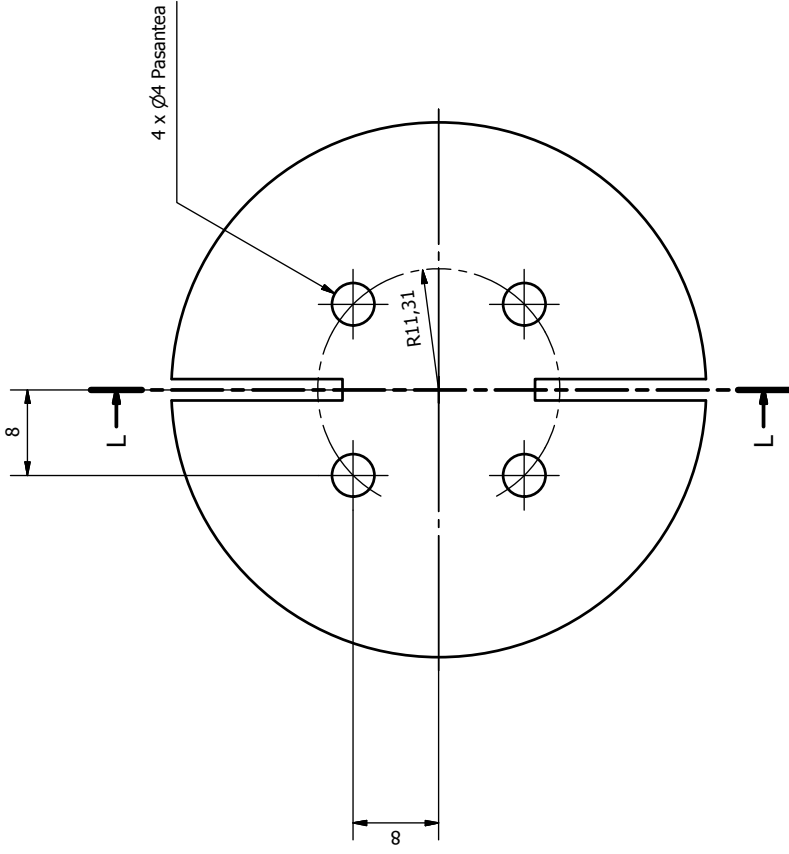
H-H (1 : 3)



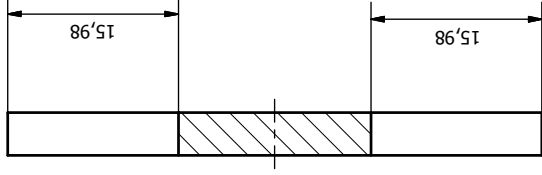
PERSPEKTIBA (1 : 4)



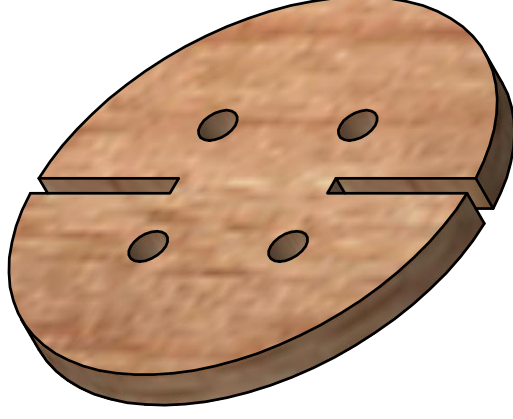
 EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA BILBOKO INDUSTRI INGENIARITZA TEKNIKORAKO UNIBERTSITATE ESKOLA		Izena Joseba Llano	
Data 2015-09-04		Zaiola Aginako 2015-09-04	
Marraztua: Gainbegiratua: Eskala 1:3 Datu Kartografikoak		OINARRI EUSKARRIA	
IMAN IRAUNKORREKO FLUXU AXIALEKO AEROSORGAILU BATEN DISEINUA			
Plano Zkia. : 6		Plano Kop. : 7	





L-L (2 : 1)



PERSPEKTIBA (2 : 1)



 EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA BILBOKO INDUSTRI INGENIARITZA TEKNIKORAKO UNIBERTSITATE ESKOLA		 IMAN IRAUNKORREKO FLUXU AXIALEKO AEROSORGAILU BATEN DISEINUA	
Marraztua: 2015-09-04	Izena Joseba Llano	Data 2015-09-04	Zaiola Aginako
Gainbegiraturua: Eskala 2:1	MOLDEAREN ALBOKO XAFLA		
Datu Kartografikoeak		Plano Zkia. : 7 Plano Kop. : 7	

A. ERANSKINAK

A.1. HAIZEAREN DATUAK

Ir. IX. 16. Estazio eolikoa 3. Oiz-2. Kantabriar zona

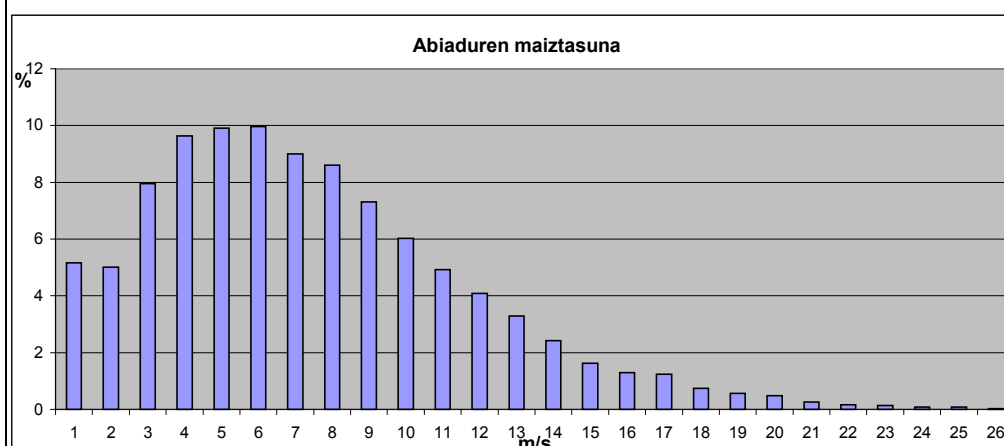
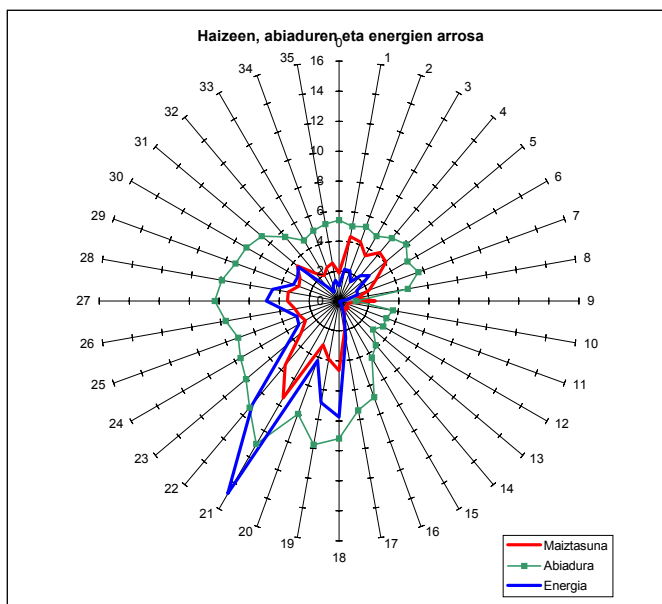
IX. ir. 16. Estazio eolikoa 3. Oiz-2. Kantabriar zona Denboraldiko batez besteko abiadura: 7,21 m/s

Haizearen hileko eta urteko batez besteko abiadura (m/s). Urtarrila 96-abendua 00 denboraldia													
URTEA	URT	OTS	MAR	API	MAI	EKA	UZT	ABU	IRA	URR	AZA	ABE	Urteko
1997								8,10 *	4,74	8,15	10,20	9,41	8,13 *
1998	10,52		7,53	6,46	3,80	5,59	4,95	4,96	7,95	7,04	7,93	7,91	6,68
1999	9,95 *			7,97 *	6,80	5,41	5,46	5,57	7,68	8,56	8,67	8,78	7,28
2000	6,74	7,34	6,96	9,75	5,00	5,93	6,02	5,44	4,90 *			13,61	7,32

*: Datuek denboraldiko %66a baino gutxiago hartzen dute

ABIADUREN BANKETA (M/S), NORABIDEAK ETA ENERGIA

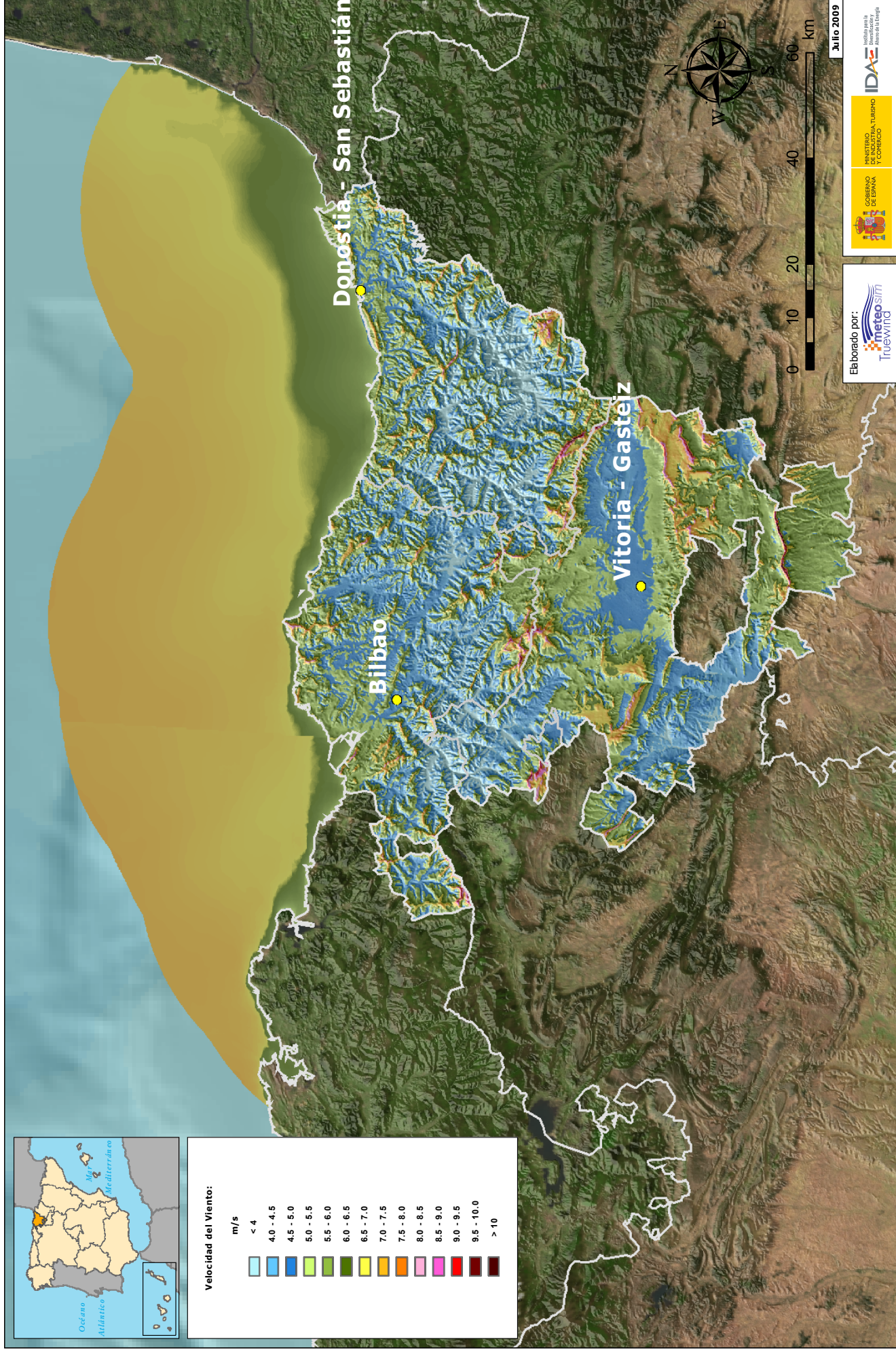
TARTEA	MAIZT	ORDU KOP.	ERAB. ENE.
	%		kWh 660
0-1	5,2	452	0
1-2	5,0	439	0
2-3	8,0	697	0
3-4	9,6	844	0
4-5	9,9	868	20.841
5-6	10,0	873	62.877
6-7	9,0	789	97.044
7-8	8,6	753	142.371
8-9	7,3	640	174.732
9-10	6,0	527	196.201
10-11	4,9	432	204.782
11-12	4,1	358	201.297
12-13	3,3	289	180.686
13-14	2,4	212	141.619
14-15	1,6	143	98.232
15-16	1,3	113	78.701
16-17	1,2	108	75.604
17-18	0,7	65	45.665
18-19	0,6	49	34.464
19-20	0,5	42	29.294
20-21	0,3	23	15.940
21-22	0,2	14	9.908
22-23	0,1	12	0
23-24	0,1	7	0
24-25	0,1	7	0
>25	0,0	2	0
GUZTIRA	100	8.760	1.810.258



KOD.	ESTAZIOA	kota (m)	BATEZ BESTEKO HAIZE-ABIADURA (km/h)												B/B
			URT	OTS	MAR	API	MAI	EKA	UZT	ABU	IRA	URR	AZA	ABE	
C056	Alegria	545	10,2	10,5	11,7	11,7	7,9	7,1	6,0	6,5	6,9	7,2	9,6	8,6	8,6
C035	Altube	618	7,3	8,1	8,3	7,6	7,2	6,7	6,4	6,4	5,9	5,8	8,1	7,4	7,1
C001	Arkaute	517	8,8	8,7	10,0	10,2	7,7	7,2	6,4	7,2	6,0	7,3	9,2	7,9	8,1
C025	Beluntza	687	18,9	20,8	20,3	18,8	17,1	15,8	13,7	14,9	15,7	16,9	23,6	21,7	18,2
C034	Espejo	504	6,4	7,2	8,3	8,9	6,7	6,6	6,0	6,5	6,1	6,9	9,3	8,6	7,3
C0AA	Etura	549	9,4	11,3	12,6	11,4	9,8	7,6	7,4	8,6	8,5	9,5	11,8	9,1	9,7
C067	Gardea	141	7,0	6,4	9,1	9,1	6,0	5,0	6,3	5,9	6,0	8,6	6,0	9,6	7,1
C040	Gasteiz	546	9,9	9,7	11,3	11,1	9,3	8,7	8,0	8,9	7,7	9,3	11,2	10,0	9,6
C048	Herrera	1188	25,8	21,4	21,0	20,3	16,2	15,1	12,1	12,9	14,1	14,4	18,8	15,0	17,3
C024	Ilurrieta	987	16,0	16,8	17,3	15,1	14,1	11,2	10,9	10,4	12,6	12,9	16,7	14,3	14,0
C047	Kapildui	1173	27,4	27,2	24,3	23,3	19,6	18,0	15,7	16,1	18,4	18,2	0,3	22,3	19,2
C027	Lodio	207	2,8	2,7	3,1	2,7	1,9	1,8	1,8	1,4	1,3	2,3	2,0	2,5	2,2
C031	Moreda	490	18,9	17,8	15,0	15,3	14,4	13,2	11,0	13,2	13,2	10,9	16,4	11,2	14,2
C041	Navarrete	689	10,2	10,8	13,8	11,5	8,5	7,6	7,2	7,0	8,4	8,2	9,9	10,2	9,4
C060	Párganos	577	16,9	16,9	15,3	14,9	11,3	9,2	8,8	7,9	9,7	9,0	14,9	10,5	12,1
C021	Roitegi	980	19,5	23,3	20,7	19,3	18,4	14,1	12,5	12,7	15,5	15,3	24,5	17,1	17,8
C030	Salvatierra	589	8,4	10,6	10,7	10,9	9,0	7,1	6,7	7,5	7,8	8,7	11,5	7,5	8,9
C051	Saratxo	230	6,7	6,3	8,1	7,4	5,6	5,8	5,9	5,4	5,7	6,9	6,1	9,9	6,6
C020	Trebiño	546	11,5	12,7	13,7	12,3	9,6	7,7	7,7	7,7	7,9	8,0	12,1	9,9	10,1
C070	Zaldiaran	980	31,9	25,8	29,9	28,4	21,4	22,2	20,5	22,4	22,4	28,3	32,7	35,0	26,8
C050	Zambraña	470	11,0	10,5	12,8	11,8	9,1	9,4	9,1	9,8	8,7	9,9	11,4	13,3	10,6
C061	Arbolea	329	20,1	16,7	19,8	14,4	12,3	8,3	6,4	6,9	8,9	17,2	17,1	25,8	14,5
C032	Areia	122	2,1	5,7	5,8	5,3	4,3	4,5	4,3	4,2	3,8	4,9	4,3	5,1	4,5
C002	Arteaga	19	6,0	6,8	6,4	6,4	6,4	5,2	4,7	4,0	3,9	4,4	5,9	5,3	5,4
C069	Bermeo	106	14,4	15,7	14,2	12,7	12,8	9,8	7,1	8,0	8,2	11,6	17,6	15,0	12,3
C065	Ceoria	677	22,4	22,2	22,2	18,4	17,6	11,5	8,8	9,2	11,8	18,4	23,3	23,0	17,4
C003	Deiyo	30	7,0	7,5	9,0	7,3	7,2	5,8	5,3	5,0	4,6	6,1	6,4	7,5	6,6
C039	Deusto	3	13,5	12,6	14,0	12,9	11,4	10,1	10,0	9,1	9,8	12,4	11,9	15,2	11,9
C075	Eitzaga	270	6,8	7,5	7,6	7,1	7,4	6,1	5,0	5,0	4,7	5,8	7,4	6,3	6,4
C038	Gallindo	5													
C033	Igorre	150	8,5	7,3	10,5	8,1	6,4	6,0	5,9	5,5	6,0	8,7	6,6	11,1	7,5
C036	Iurreta	180	10,0	11,2	11,4	10,5	10,4	9,0	8,3	7,5	7,2	8,5	10,3	9,7	9,5
C045	La Garbea	717	29,3	27,8	17,1	22,0	19,0	16,3	13,4	14,3	17,1	28,1	19,6	8,5	19,2
C019	Matxitxako	433	34,2	35,2	32,4	28,0	29,1	22,4	16,4	17,5	22,1	28,3	36,7	28,4	27,5
C057	Mungia	22	10,0	11,7	10,7	9,3	9,9	7,7	6,2	6,2	5,4	7,1	9,9	9,7	8,7
C046	Oiz	980	35,0	33,2	34,3	28,5	25,6	22,3	18,2	20,0	24,0	30,3	36,6	35,7	28,6
C059	Orduñe	300	12,6	9,3	10,6	9,8	8,3	6,1	5,2	5,3	5,3	8,8	10,8	12,4	8,7
C072	Orduña	934	31,3	22,9	31,1	23,8	13,6	11,5	11,3	12,1	14,6	17,7	1,4	42,6	19,5
C0B4	Orozko	200	4,2	4,0	5,7	5,4	3,8	4,3	4,7	4,2	3,7	5,0	4,2	8,1	4,8
C054	Oxandio	556	7,5	7,5	6,7	6,9	6,9	6,6	5,6	6,1	4,9	4,9	8,9	6,8	6,7
C042	Punta Galea	61	24,9	27,7	22,7	21,8	22,3	14,8	11,0	13,7	14,2	19,0	28,9	24,7	20,5
C022	Urkiola	709	12,1	12,5	14,1	11,1	7,7	7,3	6,1	6,1	7,7	10,5	12,8	17,8	10,5
C023	Arrasate	318	6,1	6,0	7,3	6,6	5,5	5,5	5,1	5,6	5,0	7,1	8,7	8,5	6,4
C026	Berastegi	379	6,1	7,0	8,6	7,2	6,2	6,0	5,6	5,5	5,7	7,4	7,2	8,9	6,8
C058	Bidana	592	10,6	12,3	12,4	10,8	10,0	8,2	6,1	7,1	8,2	10,0	12,4	12,6	10,1
C018	Higer	43	12,7	9,4	12,8	14,0	16,6	11,7	9,5	10,5	10,4	10,4	17,7	13,3	12,4
C071	Jaizkibel	545	26,1	24,9	26,1	22,6	23,3	17,8	12,7	15,1	19,1	24,1	24,9	18,5	21,3
C0EC	Lasarte	18	7,5	7,2	8,2	7,1	5,6	5,2	5,3	5,3	5,1	6,4	6,1	9,9	6,6
C017	Miramón	113	12,1	11,9	11,4	10,6	10,7	8,5	7,5	7,9	8,0	9,9	11,3	12,3	10,2
C043	Oreizia	243	5,9	6,0	8,4	7,3	5,8	5,5	5,4	5,1	5,4	7,2	5,9	7,3	6,3
C007	Santa Clara	48	16,8	17,7	16,0	15,7	14,4	11,2	9,1	10,1	9,5	12,0	18,8	16,4	14,0
C064	Zarauz	80	18,8	20,2	17,2	17,1	15,3	11,2	9,8	10,7	11,2	13,1	21,7	18,5	15,4
C028	Zegama	520	12,0	11,3	13,8	11,6	8,5	7,0	5,6	6,2	8,1	11,7	12,8	14,7	10,3
C029	Zizurkil	149	12,3	10,8	12,3	9,6	8,1	6,2	5,7	5,3	6,7	9,9	9,0	14,9	9,2

MAPA EÓLICO DEL PAÍS VASCO

Velocidad Media Anual a 80 m de altura



A.2. MATERIALEN EZAUGARRI TEKNIKOAK



Ficha técnica del artículo Q-20-20-05-N

Datos técnicos y seguridad de uso

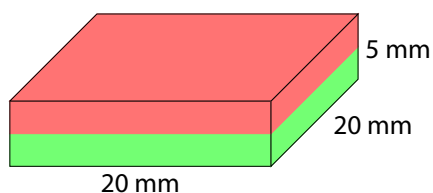
Webcraft GmbH
Industriepark 206
78244 Gottmadingen, Alemania

Teléfono: +49 7731 939 839 1
Telefax: +49 7731 939 839 9

www.supermagnete.es
support@supermagnete.es

1. Datos técnicos

Artículo	Q-20-20-05-N
Forma	Bloque
Página 1	20 mm
Página 2	20 mm
Página 3	5 mm
Tolerancia de la longitud	+/- 0,1 mm
Sentido de magnetización	paralelo al lado 3
Superficies polares	20 x 20 mm
Material	NdFeB (Neodimio-hierro-boro)
Tipo de recubrimiento	Níquel (Ni-Cu-Ni)
Fza. sujec.	aprox. 6 kg aprox. 58,8 N
Peso	15,2 g
Tipo de fabricación	sinterizado
Magnetización (Calidad)	N42
Temperatura de servicio máx.	80°C
Temperatura de Curie	310 °C
Remanencia Br	12900-13200 G 1.29-1.32 T
Coercitividad bHc	10.8-12.0 kOe 860-955 kA/m
Coercitividad iHc	≥12 kOe ≥955 kA/m
Producto energético (BxH)max	40-42 MGOe 318-334 kJ/m ³



Sin sustancias nocivas conforme a la directiva RoHS 2011/65/UE.
No sujeto a la obligatoriedad de registro conforme a REACH.

A.3. KALKULU TAULAK

TAMAINAREN ESTIMAZIOA

BEHARREZKO POTENTZIA ELEKTRIKOA (W)	HAIZEAREN POTENTZIA (W)	HAIZEAREN ABIADURA m/s	HAIZEAREN ABIADURA Km/h	A TURBINAREN AZALERA m ²	D TURBINAREN DIAMETROA m	H TURBINAREN ALTUERA m	n TURBINAREN ABIADURA (rpm) n=(60*λ*v/π*D)
15	98,04	1	3,6	156,238	8,838	17,677	1,513
15	98,04	2	7,2	19,530	3,125	6,250	8,557
15	98,04	3	10,8	5,787	1,701	3,402	23,579
15	98,04	4	14,4	2,441	1,105	2,210	48,403
15	98,04	5	18	1,250	0,791	1,581	84,556
15	98,04	6	21,6	0,723	0,601	1,203	133,383
15	98,04	10	36	0,156	0,279	0,559	409,991
15	98,04	20	72	0,020	0,099	0,198	2319,261

POTENTZIA ELEK	Cp SAVONIUS	η _{sorg} SORGAILUAREN ERREND.	λ =TSR	η _{elekt} ELEKTRONIKAREN ERREND.	f maiztasuna (Mhz)
15	0,2	0,85	0,7	0,9	50
			0,6		

ABIADURA ETA POLO KOPURUA

P BEHARREZKO POTENTZIA ELEKTRIKOA (W)	HAIZEAREN POTENTZIA (W)	V HAIZEAREN ABIADURA m/s	V HAIZEAREN ABIADURA Km/h	A TURBINAREN AZALERA m ²	D TURBINAREN DIAMETROA m	H TURBINAREN ALTUERA m	n TURBINAREN ABIADURA RPM	P POLO KOPURUA	f MAIZTASUNA 12 POLOEKIN Mhz
15	98,04	1	3,6	0,156	0,300	0,520	45	134,64	4,46
15	98,04	2	7,2	0,156	0,300	0,520	89	67,32	8,91
15	98,04	3	10,8	0,156	0,300	0,520	134	44,88	13,37
15	98,04	4	14,4	0,156	0,300	0,520	178	33,66	17,83
15	98,04	5	18	0,156	0,300	0,520	223	26,93	22,28
15	98,04	6	21,6	0,156	0,300	0,520	267	22,44	26,74
15	98,04	10	36	0,156	0,300	0,520	382	15,71	38,20
15	98,04	20	72	0,156	0,300	0,520	764	7,85	76,39

POTENTZIA ELEK	C_p SAVONIUS	η_{org} SORGAILUAREN ERREND.	$\lambda = \text{TSR}$	η_{elekt} ELEKTRONIK. ERREND.
15	0,2	0,85	0,7	0,9
			0,6	

Maiztasuna (Mhz)	POLO KOPURUA
50,00	12,00

n_{konekt} (RPM)	n_{nom} (RPM)
178	382

INTENSITATE MAXIMOA

P_{BATERIAN} (w)	$P_{\text{SORGAILUAN}}$ (w)	$V_{\text{linea-konket}}$ (V)	$V_{\text{fase-konket}}$ (V)	$V_{\text{linea-nom}}$ (V)	$V_{\text{fase-nom}}$ (V)	$I_{\text{linea-nom}}$ (A)
15	19,61	7,4	4,27	15,86	9,16	0,873

η_{Sorg} SORGAILUAREN ERREND.	η_{elekt} ELEKTRONIKAREN ERREND.	n_{konket} (RPM)	n_{nom} (RPM)	cos ρ	P-ren Segurtasun faktorea
0,85	0,9	178	382	0,90	1,1

IMAN BATEN FLUXU DENTSITATEA

	<i>Br</i> (Gauss)	<i>X</i> Distantzia (mm)	<i>A</i> Luzera (mm)	<i>B</i> Zabalera (mm)	<i>L</i> Lodiera (mm)	<i>B</i> Imana bakarrik (GAUSS)	<i>B</i> Fluxu dentsitatea Bi Iman burdinezko errotore bikoitzean (GAUSS)	<i>B</i> Fluxu dentsitatea Bi Iman burdinezko errotore bikoitzean (TESLA)
Q-20-20-05-N	13200	6	20	20	5	1498,10	4549,3	0,455
Q-20-20-05-N	13200	7	20	20	5	1317,11	3998,0	0,400
Q-20-20-05-N	13200	8	20	20	5	1154,89	3509,8	0,351
Q-20-20-05-N	13200	10	20	20	5	885,85	2707,9	0,271

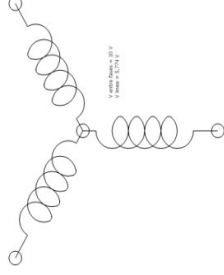
INDUZITUTAKO IEE

D TURBINAREN DIAMETROA m	H TURBINAREN ALTUEA m	A TURBINAREN AZALERA m ²	Haizearen Abiadura m/s	Haizearen Abiadura Km/h	P_v (W) Haizearen potentzia $P_{haizea} = 1/2 \cdot A \cdot \rho \cdot v^3$ $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$	$P_{savonius}$ (W) Savonius turbinaren potentzia= $P_{savonius} = P_{haizea} \cdot C_p$ $C_p = 0,2$	n (rpm) TURBINAREN ABIADURA $n = (60 \cdot \lambda \cdot v) / (\pi \cdot D)$ $\lambda = \text{TSR} = \text{velocidad específica}$ savonius=0,8	POLO KOPURUA $p = (120 \cdot f) / n$
0,3	0,52	0,156	1	3,6	0,0975		44,56	134,64
0,3	0,52	0,156	2	7,2	0,78	0,156	89,13	67,32
0,3	0,52	0,156	3	10,8	2,6325	0,5265	133,69	44,88
0,3	0,52	0,156	4	14,4	6,24	1,248	178,25	33,66
0,3	0,52	0,156	5	18	12,1875	2,4375	222,82	26,93
0,3	0,52	0,156	6	21,6	21,06	4,212	267,38	22,44
0,3	0,52	0,156	10	36	97,5	19,5	381,97	15,71
0,3	0,52	0,156	20	72	780	156	763,94	7,85

12 POLO

INDUZITUTAKO IEE ETA IRTEERAKO TENTISIOA

Vlinea (V)	7,4
Vfase (V)	4,2724
v (m/s)	4
n (rpm)	178,254
POLOS	12
BOBINAS	18
BOBINAS/FASE	6
D plato	0,271



	Tamaina	Imanen L (m)	Imanen R1 (m)	Imanen R2 (m)	f_c	B (Tesla)	n (rpm)	E (V)	Espira kopurua	Harilak seritean faseko	N espira Harilako	IEE harileko (V)	V_{fase} (V)	V_{linea} (V)
AURREIKUSPENA	20x20x5	0,0200	0,1065	0,1265	0,3278	0,400	178,25	0,0161	265,1181	3	88,373	1,424	4,272	7,4
200 espira n_{const}	20x20x5	0,0200	0,1065	0,1265	0,3278	0,400	178,25	0,0161		3	200	3,22	9,67	16,75
200 espira n_{nom}	20x20x5	0,0200	0,1065	0,1265	0,3278	0,400	381,97	0,0345		3	200	6,91	20,72	35,89

CONEXIÓN BOBINAS = TRES GRUPOS EN PARALELO DE 2 BOBINAS EN SERIE POR FASE

MODELO IMAN	Tamaina	L (m)	R1 (m)	R2 (m)	f_c	B (Tesla)	n (RPM)	E (V)	Espira kopurua	Harilak seritean faseko	N espira Harilako	IEE por bobina (V)	Vfase (V)	Vlinea (V)
AURREIKUSPENA	20x20x5	0,0200	0,2710	0,1265	0,3278	0,400	178,25	0,0161	265,1181	2	132,559	2,14	4,27	7,40
200 espira n_{const}	20x20x5	0,0200	0,2710	0,1265	0,3278	0,400	178,25	0,0161		2	200	3,22	6,45	11,16
200 espira n_{nom}	20x20x5	0,0200	0,1065	0,1265	0,3278	0,400	381,97	0,0345		2	200	6,91	13,81	23,92

HARIAREN ERRESISTENTZIA

Harilaren luzera (mm)	Harilaren zabalera (mm)	Barneko zuloaren luzera (mm)	Barneko zuloaren zabalera (mm)	Espira txikiaren luzera (mm)	Espira handiaren luzera (mm)	Batez besteko espira luzera (mm)	Espira kopurua harileko
34,93	34,93	20,00	20,00	80	139,72	109,861	200

Harilaren luzera (mm)	Harilaren luzera (m)	Harila kopurua	Harila guztietarako hariaren luzera (m)	Hariaren S (mm ²)	Hariaren D (mm)	Hariaren R (Ω/m)	R erresistentzia harileko (Ω)
21972,29	21,97	18	395,50	0,196	0,50	0,087	1,91

Erresistentzia faseko (Ω)
2,87

CALCULO TAMAÑO ESTATOR

Iman mota	Espira kopurua	Hariaren D(mm)	Hariaren S(mm ²)	Iman kopurua	Imanen arteko desfasea (°)	Harila kopurua	Hrilen arteko desfasea (°)	Imanaren luzera (mm)	Imanaren zabalera (mm)	Imanaren Lodiera (mm)	Harilarten sekzioa (mm ²)	Harilaren altuera (mm)	Besoaren zabalera (mm)	Harilaren zabalera (mm)	Harilaren luzera (mm)
Q-20-20-05-N	200	0,534	0,224	12	30	18	20	20	20	5	59,72	8,00	7,47	34,93	34,93

f = 0,75

GALERAK

HISTERESI GALERAK

K_h	α	f abiadura nominala (Mhz)	Errore lodiera (m)	$R1$ (m)	$R2$ (m)	V (m ³)	Pisua (Kg)	B_{max} (T)	$P_{HISTERESI}$ (W)
0,02	2	38,20	0,003	0,10652	0,12652	0,0000879	0,690	1,3	0,89

JOULE GALERAK

I_{nom} (A)	R Erresist. Harileko (Ω)	P_{joule} Harileko (w)	P_{joule} Guzтира (w)
0,436	1,91	0,364	6,55

POTENTZIA GALERAK GUZTIRA (W)
7,44

SAIAKUNTZA PROBA

BALIO ERREALAK		
N (rpm)	V fase (V)	V linea (V)
46	2,4	4,5
74	4	6,14
96	5	8,5
124	6,5	11,2
154	8,1	14,3
195	10,4	18
248	13,2	23,2

KONPARAKETA		
n abiadura (rpm)	V linea TEORIKOA (V)	V linea ERREALA (V)
46	4,3	4,5
74	7,0	6,14
96	9,0	8,5
124	11,7	11,2
154	14,5	14,3
195	18,3	18
248	23,3	23,2

BALIO TEORIKOAK		
N (rpm)	V fase (V)	V linea (V)
46	2,5	4,3
74	4,0	7,0
96	5,2	9,0
124	6,7	11,7
154	8,4	14,5
195	10,6	18,3
248	13,5	23,3

IRTEERAKO TENTSIOAREN KONPARAKETA (kargarik gabe)

