

GRADUA: INGENIERITZA MEKANIKOA
GRADU AMAIERAKO LANA

***1 MW-EKO ARDATZ HORIZONTALLEKO
AEROSORGAILU BATEN
TRANSMIZIOAREN DISEINU
MEKANIKOA***

2. DOKUMENTUA- MEMORIA

Ikaslea: Morales, Pérez, Adolfo

Zuzendaria: Abasolo, Bilbao, Mikel

Ikasturtea: 2019-2020

Data: Bilbon. 2020ko otsailaren 10ean.

2. DOKUMENTUA: MEMORIA

AURKIBIDEA

2.1. Sarrera.....	4
2.2. Helburuak eta irismena.....	5
2.3. Araudia eta bibliografia.....	6
2.3.1. Araudia.....	6
2.3.2. Bibliografia.....	6
2.4. Diseinuaren baldintzak.....	7
2.5. Definizioak eta laburdurak.....	8
2.6. Testuingurua.....	11
2.7. Proiektuaren onurak.....	12
2.8. Ingurumen inpaktua.....	14
2.8.1. Faunaren gaineko inpaktua.....	14
2.8.2. Inpaktu bisual eta akustikoa.....	14
2.9. Aerosorgailuaren kokalekua.....	15
2.10. Aerosorgailuaren funtzionamendua.....	16
2.10.1. Funtzionamendu printzipioaren arabera.....	16
2.10.2. Biraketa ardatzaren noranzkoaren arabera.....	17
2.11. Aerosorgailuaren atalak.....	22
2.11.1. Bujea.....	23

2.11.2. Palak.....	24
2.11.3. Sudurra.....	27
2.11.4. Gondola.....	28
2.11.5. Sorgailu elektrikoa.....	29
2.11.5.1. Voltaiaren sorrera (tentsioa).....	29
2.11.5.2. Errefrigerazio sistema.....	29
2.11.5.3. Sorgailu eta sarearen konekzioen diseinu aukerak.....	29
2.11.5.4. Korrante zuzeneko sorgailuak.....	30
2.11.5.5. Erabili ohi diren motak.....	30
2.11.6. Ardatz geldoa.....	31
2.11.7. Biderkatzailea.....	32
2.11.8. Abiadura handiko ardatza.....	34
2.11.9. Balazta.....	35
2.11.10. Orientazio sistema.....	36
2.11.11. Anemometroa.....	37
2.11.12. Haize-orratza.....	38
2.11.13. Bankada edo egitura.....	38
2.11.14. Kontrolagailua.....	39
2.11.15. Dorrea.....	41
2.11.16. Zimentazioa.....	42

2.12. Metodologia.....	45
2.12.1. Diseinuaren parametroak.....	45
2.12.2. Elementu komertzialen aukeraketa.....	47
2.12.2.1. Errodamenduak.....	47
2.12.2.2. Txabetak.....	53
2.12.2.3. Segurtasun eraztunak.....	55
2.12.2.4. Ardatz geldoa.....	55
2.12.2.5. Biderkatzailea.....	64
2.12.2.6. Balazta.....	72
2.13. Planifikazioa.....	73
2.14. Proiektuaren kostua.....	73

2. MEMORIA

2.1. SARRERA

Azken hamarkadan, hainbat herrialdetan energi iturri berriztagarrien erabilera sustatzen ari dira, aldaketa klimatikoa moteltzeko asmoz. Gaur egun, energia iturri hauen artean garrantzi handiena duena, energia eolikoa da, non energia haizeari esker lortzen den.

Airearen mugimendu hau, haizea deritzoguna, eguzkiaren irradiatze energia dela eta ematen da, azken finean, temperatura aldaketak direla eta agertzen dira eta. Aire berotzean, arinagoa da eta beraz igo egiten da, presio baxuko zonalde bat sortuz. Aldiz, hotzitzean astunagoa izango da eta beraz bajatu egingo da, berriz ere presio baxuko zonaldeak sortuz.

Orokorrean, aire fluxuak sortzen dira presio aldaketak direla eta, airea presio baxuko zonaldeetara mugitzeko joera izango baitu. Beraz, presio aldaketa gero eta handiagoa izan, orduan eta haize bolada indartsuagoak izango ditugu.

Energi hau aprobetxatu eta energia elektrikoan eraldatzeko dugun tresna aerosorgailua da, eta hemen kokatuko da proiektuaren ikuspuntua, hain zuzen ere, bere transmisio sisteman. Hona hemen aerosorgailu baten irudia:



2.1. Irudia: Aerosorgailu eolikoa

2.2. HELBURUAK ETA IRISMENA

Diseinatuko den aerosorgailuak, 1 MW-ko potentzia izango du. Abiarazte abiadura 3 m/s, gelditze abiadura 25 m/s eta abiadura nominala 9 m/s-koa izango da (21,2 rpm). Funtzionamendu limite hauek nahiz eta nahiko zabalak izan, beharrezkoak dira segurtasun bezala haize bolada indartsuen aurrean.

Proiektuaren helburua, aerosorgailuaren transmisioaren diseinu mekanikoa eta kalkulua izango da. Atal hau, haizeak sortutako momentua transmititzeko arduraren duen elementu mekanikoen multzoa da, jarraian irteeran antolatutako sorgailu elektrikoarekin lotura finkatuz. Multzo hau osatzen duten elementuak hurrengoak dira:

- Ardatz geldoa
- Abiadura handiko ardatza
- Bi etapa planetariodun biderkatzailea
- Balazta, txabetak, segurtasun eraztunak, errodamenduak...

Beste alde batetik, nabarmendu nahi da proiektu hau ez dela palen diseinuan zentratuko. Hau dela eta, sarri erabiltzen den pala baten profila aukeratuko da eta honen parametroen arabera egingo dira kalkuluak.

Gainera kontuan izan behar da, aurretiaz esan bezala, proiektua diseinu mekanikoa zentratuko dela eta beraz ez dira kalkulu elektriko ezta elektronikoak egingo nahiz eta aipatu egingo diren.

2.3. ARAUDIA ETA BIBLIOGRAFIA

2.3.1. Araudia

- UNE-157001-2002: “Criterios generales para la elaboración de proyectos”.
- UNE-EN 61400-1 2011: “Aerogeneradores. Parte 1: Requisitos de diseño”.
- UNE-EN 61400-1 2007: “Aerogeneradores. Parte 2: Requisitos de diseño”.
- Txabeten dimentsionamenduarentzako DIN 6885 araudia
- Segurtasun eraztunentzako DIN 471 araudia

2.3.2. Bibliografia

Proiektua era egokian garatzeko asmoz, klaseko apunteez gain, zenbait liburu eta katalogoren laguntza erabili da:

1. Liburuak

- Mikel Abasolo Bilbao, Santiago Navalpotro Cuenca, Edurne Iriondo Plaza: “Diseño de maquinas”. 1. Edizioa, UPV/EHU 2015.
- Miguel Villarubia: “La ingeniería de la energía eólica”. Bartzelona 2012.
- Javier Maria Mendez Muñoz y Luis Manuel Rodriguez Rodriguez: “Energia eólica”. Madrid 2012.
- J.L. Rodriguez Amenedo, J.C. Burgos Diaz y S. Arnalte Gomez: “Sistemas eólicos de producción de energía eólica”. Madrid 2003.
- Desire Le Gourieres: “Energia Eolica. Teoria, concepción y calculo practico de la instalación”. Editorial Masson.

2. Katalogoak

- TIMKEN enpresaren errodamenduak
- ROTOR CLIP enpresaren segurtasun eraztunak
- OPAC fabrikatzailearen txabetak
- NTN-SNR enpresaren errodamenduak ardatz handientzako

- ALMESA enpresaren profil tubular eta beteak
- SVENDBORG BRAKES enpresaren disko bidezko frenuak

3. Web orriak

- <http://drømsørre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/index.html>
- www.timken.com
- www.skf.com
- <https://www.ntn-snr.com/es>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador>
- www.opac.net
- <https://www.rotorclip.com/es/>
- www.svendborg-brakes.com
- www.almesa.com

4. Programa informatikoak

Planoak egiteko hurrengo programa informatikoa erabili da:

- Autodesk Inventor 2019.

2.4. DISEINUAREN BALDINTZAK

Aerosorgailuaren transmisioaren diseinuaren baldintzak, bezeroak ezarritakoak izango dira, eta gainerako parametroak diseinatzailearen eskuetan geratuko dira:

- Potentzia: 1 MW
- Abiarazte abiadura: 3 m/s
- Abiadura nominala: 9 m/s
- Gelditze abiadura: 25 m/s
- Bujearen altuera: 80 m

2.5. DEFINIZIOAK ETA LABURDURAK

- V: Haizearen abiadura paletatik pasatzean
- V_1 : Haizearen abiadura paletatik pasa aurretik
- V_2 : Haizearen abiadura paletatik pasatu ondoren
- dS : Gainazal diferentziala
- p : Pala kopurua
- l : Palaren lodiera diferentzialaren sekzio bakoitzean
- C_z : Palen itxuraren araberako koefizientea
- C_x : Palen itxuraren araberako koefizientea
- dr : Sekzioen arteko distantzia
- F_R : Indar erradiala
- F_A : Arrastreko indarra
- F_{SUST} : Sustentazio indarra
- N: Indar axiala
- m_f : Momentu flektorea
- $m_{tortsorea}$: Momentu tortsorea
- SK: Segurtasun koefizientea
- P: Potentzia
- P_{max} : Potentzia maximoa
- $P_{erabilgarria}$: Potentzia erabilgarria
- T: Pare tortsorea
- A: Errotorearen funtzionamendu azalera
- R: Errotorearen erradioa

- v: Haizearen abiadura
- u: Palaren puntaren abiadura lineala
- m: Airearen masa
- E: Aire masa baten energia zinetikoa
- ΔT : Denbora tartea
- n: Errotorearen biraketa abiadura (rpm)
- ρ : Airearen dentsitatea
- λ : Abiadura espezifikoa
- Ω : Errotorearen biraketa abiadura (rad/s)
- C_m : Pare koefizientea
- C_p : Potentzia koefizientea
- σ : Tentsio normala
- τ : Tentsio ebakitzaila
- σ_{yp} : Fluentzi tentsioa
- τ_{yp} : Fluentzi tentsio ebakitzaila
- I: Inertzi momentua
- I_{LN} : Inertzia momentua lerro neutroarekiko
- J: Inertzia polarraren momentua
- $w_{kritikoa}$: Biraketa abiadura kritikoa
- g: Grabitatea
- Y_i : Deflexioa (gezia)
- i: Transmisio erlazioa
- i_a : Erlazio transmisio aparentea

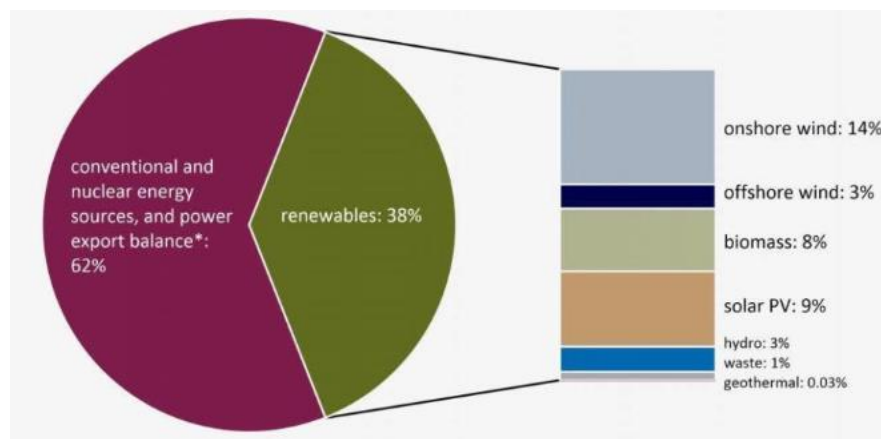
- z: Engranaiaren hagin kopurua
- m_n : Engranaiaren modulu nominala
- K_{adm} : Presio onargarria
- Ψ : Faktore gidaria.
- α : Engranaien presio angelua.
- ϕ : Presio ongarriarentzako segurtasun faktorea
- Y: Lewisen formaren faktorea
- b: Engranai baten zabalera
- V_y : Ebakidura indarra
- Q: Momentu estatikoa
- y_{GZ} : Distantzia grabitate zentrora
- L_{10} : Errodamendu baten bizitza nominala
- L: Milloi erreboluzio
- R: Errodamendu baten fidagarritasuna
- R_{talde} : Errodamendu talde baten fidagarritasuna
- F_{ae} : Kanpo indar axiala
- C: Errodamendu baten karga kapazitatea
- μ : Marruskadura koefizientea
- $F_{pastilla}$: Balaztatze pastilla bakoitzak aplikatutako indarra
- T_{roz} : Marruskadura pare
- D_0 : Diskoaren kanpo diametroa
- a: Erabili beharreko balazta kopurua
- F_B : Beharrezko balaztatze indarra

2.6. TESTUINGURUA

Energia iturri ez berriztagarrien erabilera neurrigabea dela eta, petroleoa esaterako, ingurumen arazo nabarmenak agertzen ari dira. Hau dela eta, urteak pasatu ahala esfortzu gero eta handiagoa egin da energia berriztagarrien garapenean. Gaur egun, garrantzitsuena eta gehien garatu dena energia eolikoa da.

Hainbat herrialdetan postuak irabazten joan da, ekoiztako eta kontsumitutako energia elektrikoaren ehuneko handi batera helduz. Gainera, aipagarria da munduan biztanle gehien dituzten herrialdeek ere energia berriztagarri honengatik egin dutela apustu, hala nola China edo eta India.

Europari dagokionez, potentzia handiena energia eolikoari dagokionez Alemania da dudarik gabe. Erabiltzen duen energiaren %14-a energia iturri honetatik lortzen du. Hona hemen grafika hobeto ikusi ahal izateko:



2.2. Irudia: Alemaniako energia iturriak

Espaniaren kasuan, dependentzia energetiko handia dauka beste herrialdeengan, bertan ez baitago petroleo ezta gas naturalen baliabiderik, eta beraz kanpotik ekarri behar dira. Hala ere, potentzial eoliko ona dauka eta teknologia nahiko aurreratu dauka aerosorgailuetaz hizketan ari garenean. Hau dela eta mundu mailako ranking-ean 5. postuan kokatzen da oraintxe bertan, Txina, Estatu Batuak, Alemania eta Indiarekin batera. Autonomia erkidegorik indartsuena Gaztela eta Leon da, Gaztela Mantxa, Andaluzia eta Galiziarekin jarraituz.

2.7. PROIEKTUAREN ONURAK

Proiektu hau garatzeak hainbat onura ekarriko ditu. Hauek hobeto ulertu ahal izateko, energia berriztagarri mota honen ezaugarri orokorrak aztertuko dira. Azken finean, ezaugarri hauengatik da energia eolikoa gaur egungo energia baliabide nagusienetako bat dela:

- Potentzia kutsatzaile baxua: Aerosorgailuen bidez sortzen den energiak ingurumenean eragin txikiena dauka, sortzen den unean ez baitu errekuntza prozezu inpliziturik behar.
- Energia gehiago sortzen du: Aerosorgailu batek sortutako elektrizitatea eta 1000 kilo petrolioren energia-ahalmena oso antzekoak dira, egunero erregai honen milaka litro erretzea ekidituz.
- Kutsadura atmosferikoren aurka laguntzen du: Energia eolikoari esker ikatza eta petrolioaren ondorioz sortutako milaka tona gas kutsatzaile atmosferara bidaltzea ekiditzen da.
- Lurzoruarekiko inpaktu txikiagoa: Ingurugiroari dagokionez, beste abantaila garrantzitsu bat izango litzateke. Hain zuzen ere, energia eolikoaren sorrerak ez du eraginik luraren konposizio eta higaduran. Beraz, airearen kutsaduraren aurka lankidetzan aritzeaz gain, funtsezko eginkizuna jokatzen du lurzoruaren kutsaduraz hitz egiterakoan.
- Ez du uraren konposizio aldatzen: Energia eolikoak ez du aldaketarik sortzen ur-iturrietan, energia sortzerako orduan ez baitago uraren behar izanik eta ez duelako hondakinik ezta isurketarik sortzen.
- Bere garraioak ez du inolako eraginik sortzen ingurumenean: Haizeak sortutako energiaren kasuan, bestelako erregaiekin alderatzen bada, garraiatzerako orduan ingurune naturalean duen inpaktua nulua da, ez baitu hodian, kamioien edo eta bakuen behar izanik.

- Ingurumena errespetatzen du: Haizearen bidez energia elektrikoa sortzeak ez ditu gas kutsagarriak sortzen, ez du berotegi efektura laguntzen, ez du ozono jeruza suntzitzen eta ez du hondakin kutsagarriak sortzen.
- Bere potentziala izugarria da: Bere potentzial osora iritsiko bagina, sortutako energia kantitatea munduko biztanleria osoaren elektrizitate eskakizuna baino 20 aldiz handiagoa izango litzateke.
- Bere hazkundera gero eta handiagoa da: Azken aurreko abantaila bezala bere etengabeko hazkundera aipatu beharrekoa da. 2010 ean mundo mailako elektrizitate ekoizpen osoaren % 2,5 soilik suposatzen zuen, baina ordutik % 25 bat hasi da urtez urte.
- Kostuen jaitsiera: Kostuak % 80 murriztu dira 1980. Urtetik eta urtero urtero murrizten jarraitzen dute.

Aurreko puntu guztiak laburbiltzen baditugu, modu azkar eta errazago batean proiektu honen onurak ulertzeko, hurrengo puntuak azpimarratu beharko lirateke:

1. Berriztatzen doan energia
2. Agortezina
3. Ez-kutsakorra
4. Erregai fosilen erabilera murrizten du
5. Aberastasuna eta tokiko enpleguak sortzen ditu
6. Garapen iraunkorrari laguntzen dio

2.8. INGURUMEN INPAKTUA

Beste erregai kutsagarriekin alderatuz, energia eolikoa da gaur egun energia ekoizteko ezagutzen den modu garbienetako bat. Hala ere, garrantzitsua da kontutan izatea ingurumenaren gain duen inpaktua. Bi inpaktu mota desberdindu daitezke: faunaren gaineko inpaktua eta beste alde batetik, inpaktu bisual eta akustikoa.

2.8.1. Faunaren gaineko inpaktua

Mendietan eta bestelako ingurune naturaletan parke eolikoak ezartzean, inguruko faunan eragin zuzenak ikusi ahal dira. Gehien bat, hegaztietan ikus daitezke eragin hauek. Azken finean, palak mugitzen direnean, presio aldaketak sortzen dituzte, eta gainera pala batek jota hiltzeko arriskua dago. Gaur egun, arazo honen inguruan hainbat azterketa egin dira eta gero eta garrantzi handiagoa ematen zaio.

2.8.2. Inpaktu bisual eta akustikoa

Inpaktu mota hau da gaur egun kezka gehien sorrarazi duena. Sortutako zarata, palen biraketaren ondorioa da gehien bat, baina baita gainerako atal mekanikoen mugimendua dela eta. Aerosorgailuaren espezifikazioen arabera, kutsadura mota hau desberdina izango da noski. Gaur egun, inpaktu mota hau ahalik eta gehien gutxitzeko hainbat saiakera egiten ari dira, isolatzaile akustikoetan ikerketa mordoa eginez. Inpaktu bisuala, bigarren plano batean dago baiian hala ere hainbat kezka sorrarazi ditu jendearen artean paisaiari suntsitzeak.



2.3. Irudia: Oiz mendian aurki daitekeen fauna

2.9. AEROSORGAILUAREN KOKALEKUA

Aerosorgailuaren kokaleku egoki bat aukeratzea oso garrantzitsua da, toki bakoitzean haizearen abiadura ezberdina baita, hau da, ez da berbera haran bat, mendi bat edo itsasoan kokatzea aerosorgailua haizearen batez besteko abiadurak guztiz desberdinak izango direlako. Hau dela eta, orokorrean mota honetako aerosorgailuak kokatu aurretik ikerketa luzeak egiten dira kokaleku teorikoetan.

Kasu hontan, ez da proiektuaren helburu ikerketa hau egitea, eta beraz leku bat aukeratu da non haizearen abiadurak hartzen dituen baloreak bitartekoak diren. Egin den aukera, Euskal Herriko kostaldetik kokatzen da, Oiz mendian hain zuzen ere. Aemet eta bestelako erraminten bidez, gutxi gora behera Oizeko haizearen batez besteko abiadura 15 m/s-koa dela ikusi da 60 metroko altuera baterako (bujearen altuera), eta beraz, zenbaki honekin egingo dira kalkulu guztiak.



2.4. Irudia: Oiz mendia



2.5. Irudia: Oiz mendiaren mapa topografikoa

2.10. AEROSORGAILUAREN FUNTZIONAMENDUA

Aerosorgailuak, haizearen energia zinetikoa energia mekaniko bihurtzen dute. Haizearen indarra dela eta, paletan indar batzuk agertzen dira eta hauek ardatz geldora transmititzen dira par tortsore bezala. Ardatz honek, par tortsore hau transmitituko du biderkatzailera, non sarrerako biraketa abiadura handiagotuko den engranaidun etapa batzuen laguntzaz.

Irteeran, abiadura handiko ardatza kokatuko da, par tortsorea sorgailu elektrikora transmititzeaz arduratuko dena. Azken honek, elektrizitatea sortuko du. Lortutako potentzia, hainbat faktoreren menpe egongo da: Errotorearen azalera mugimenduan, haizearen abiadura eta haizearen dentsitatea.

Funtzionamendua sakonkiago aztertuz gero, aerosorgailu mota ezberdinak daudela ikus daitezke. Bi mota nabarmenenak hurrengoan araberakoak dira: funtzionamendu printzipioa eta biraketa ardatzaren noranzkoa.

2.10.1. Funtzionamendu printzipioaren arabera

Funtzionamendu printzipioaren arabera bi mota desberdin daitezke: drag (arraste indarrean oinarrituta) eta lift (euste indarrean oinarrituta).

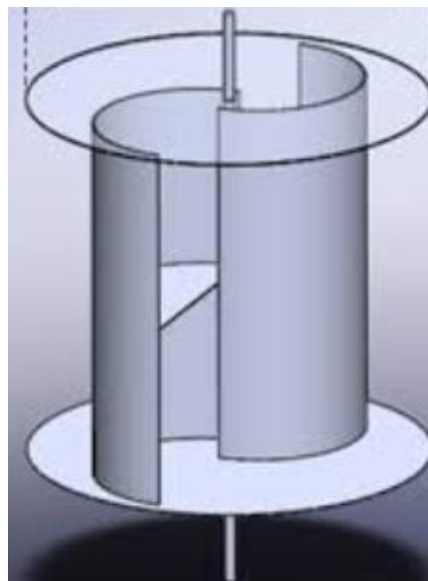
- A. Drag motako aerosorgailuak:** Abiadura espezifiko baxua eta abiarazte par handia izaten dute. Hauen artean, beste bi mota bereiz daitezke: Savonius ardatz bertikaldunak eta ardatz horizontaldun multupalak.
- B. Lift motako aerosorgailuak:** Aurrekoekin alderatuz, abiadura espezifiko altuagoa eta abiarazte par txikiagoa dute. Hauen artean ere, beste bi mota bereiz daitezke: helize motako ardatz horizontaldunak eta Darrieus motako ardatz bertikaldunak.

2.10.2. Biraketa ardatzaren noranzkoaren arabera

Biraketa ardatzaren noranzkoaren arabera bi mota desberdinu daitezke: VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) eta HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine).

A. VAWT motako aerosorgailuak: Biraketa ardatza, haizearen norabidearekiko perpendikularki kokatuta dute. Mota honetako aerosorgailuak gutxien erabiltzen direnak dira arrazoi tekniko eta ekonomikoak direla eta, Savonius eta Darrieus ezagunenak izanik. Abantaila handien artean, aipatzekoa da ez dutela orientazio sistema baten behar izanik. Beste alde batetik, bigarren abantaila ere badute, sorgailua, potentzi tren eta kontrol sistema lur altueran kokatzen direla.

- Savonius aerosorgailuak: Aerosorgailu mota hau Finlandian garatu zen. Erabiltzen dituen palengatik errez desberdinu daiteke. Palen kurbaturari esker, erresistentzi txikiagoa agertzen da haizearen kontra, haizearen noranzko berean baino. Desabantaila handienak, errendimendu baxua eta biraketa abiadura baxua dira. Hau dela eta, aplikazio oso gutxi ditu errealitatean. Hala ere, nahiko ekonomikoak eta erabilera errazekoak dira. Beraz, alde ekonomikoa efizientzia baino garrantziatsuagoa denean mota honetako aerosorgailuetara jo daiteke. Hona hemen irudi bat:



2.6. Irudia: Savonius aerosorgailua

- Darrieus aerosorgailuak: Aerosorgailu mota hau ingeniari amerikar batek garatu zuen 1931. urtean. Mota honen errendimendua eta abiadura, ardatz horizontaleko aerosorgailu baten antzerakoak dira, zenbait desabantailaz aparte. Hasteko, ez da abiarazte parerik existitzen, eta beraz motore elektriko baten behar izana dago bere funtzionamendurako. Beste alde batetik, egituraren oreka zihurtatzeko, hainbat elementu laguntzailearen behar izana dago. Hona hemen argazki bat:



2.7. Irudia: Darrieus aerosorgailua

- B.** HAWT motako aerosorgailuek, biraketa ardatza, haizearen norabidearekiko paraleloan kokatuta dute. Mota honetako aerosorgailuak dira gaur egun gehien erabiltzen direnak energia elektrikoa sortzeko. Multzo honen barruan ere, beste bi desberdintzen dira:

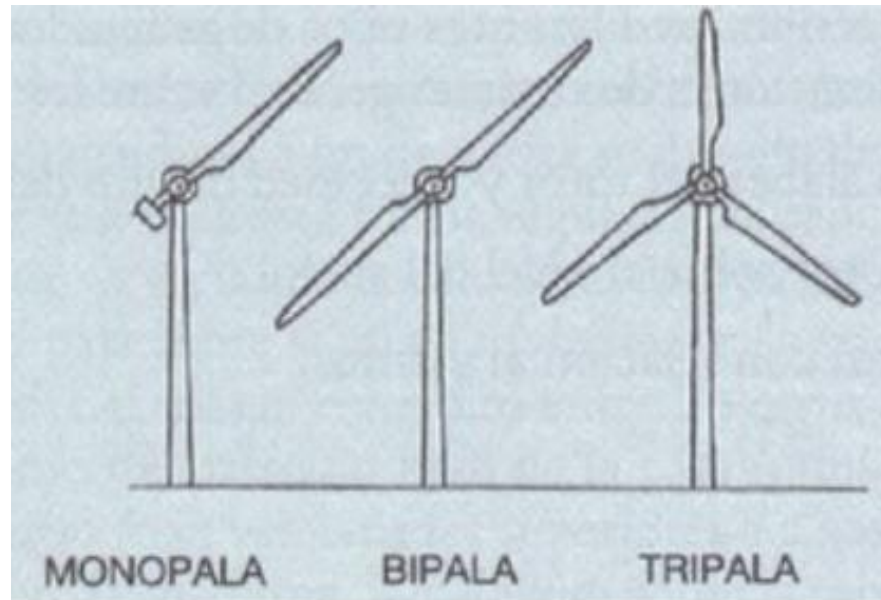
- Errotore multipalak: Errotore mota hauek, 6 eta 24 pala artean izaten dituzte, diametroa 3 eta 10 metro bitartekoa izanik. Errotore hauek abiarazte pare indar handie dute, egituraren sendotasuna dela eta, eta beraz, biraketa abiadura ere txikia da (palen puntako abiadura, hauek jotzen duen haizearen berbera da). Hau dela eta, ez dira erabiltzen energia elektrikoa ekoizteko. Erabilera gutxienetako bat, uraren punpaketa izango litzateke. Hona hemen argazki bat:



2.8. Irudia: Errotore multipaladun aerosorgailua

- Helize errotoreak: Errotore mota hauek azken azaldutakoak baino azkarrago biratzen dute. Palen puntaren abiadura, hauek jotzen duten haizearena baino 6-14 bider handiagoa da. Hau dela eta, aerosorgailu mota hau askoz aproposagoa da energia elektrikoa ekoizteko. Gainera, abaintail handi bat dauka, hain zuzen ere, bere abiarazte pare oso txikia

dela. Haizea 3-5 m/s-ko abiadura izatearekin nahikoa izango litzateke hauek biratzen hasteko. Hauek, pala kopuruaren arabera sailkatzen dira: monopala, bipala eta tripala. Efizienteena, tripala da, eta beraz hau da erabiliena gaur egun.



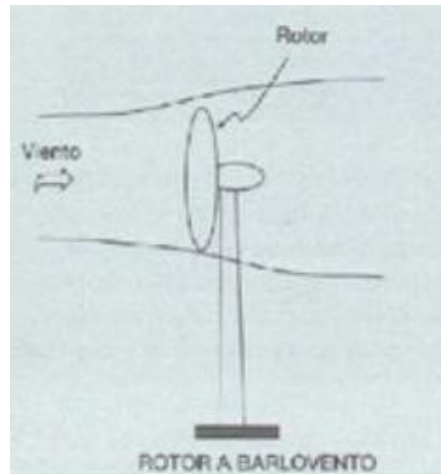
2.9. Irudia: Helize errotore motak

Nahiz eta monopalak abiadura handiagoak hartu ahal izan eta gainera material aldetik dirutza aurreztu ahal den, tripalak biraketa abiadura goxoagoa eta uniformeagoa dauka, inertzia momentuen propietateak direla eta. Gainera, biraketa lasaiagoa denez, bibrazioak eta bestelako zaratak ez dira horren esanguratsuak.

Hau dela eta, proiektu honetarako aerosorgailu tripala bat aukeratuko da. Hala ere, hauen artean, haizearen noranzkoaren dispozizioaren arabera, beste bi mota bereiz daitezke: a barlovento deitzen dena eta sotavento deitzen dena.

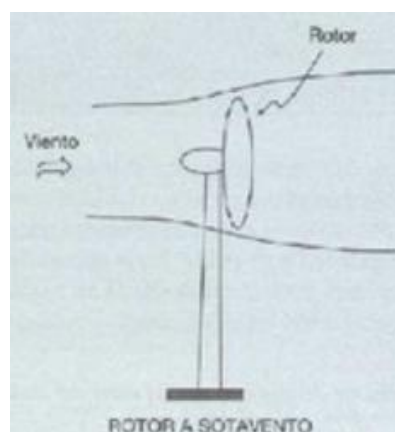
- A barlovento: Haizeak lehenik errotorea jotzen du, eta ondoren euste dorrearekin. Honi esker, bibrazioak eta neke eskortzuak minimizatzen dira errotorearen paletan. Dispozizio mota honek, errotore sendoago baten beharra dauka eta euste dorretik urrunago kokaturik egon behar du,

haizea indartsua denean eta palak flexionatzen direnean, dorrearekin ez elkar jotzeko. Azkenik, aipatu beharra dago mota honek orientazio sistema bat behar duela errotorearen biraketa planoan haizearen noranzkoaren perpendikularra izan dadin uneoro.



2.10. Irudia: A barlovento errotorea

- A sotavento: Hauek ez dute orientazio sistema baten behar izanik. Hauen desabantaila handiena, potentzia galdu eta baita neke tentsioen handiagotzea izango litzateke. Azken finean, haizeak gondola eta dorrea jotzen ditu errotorearen palen aurretik. Gainera, gondola aske biratzen denez, kableak enrollatzeko arriskua dago.



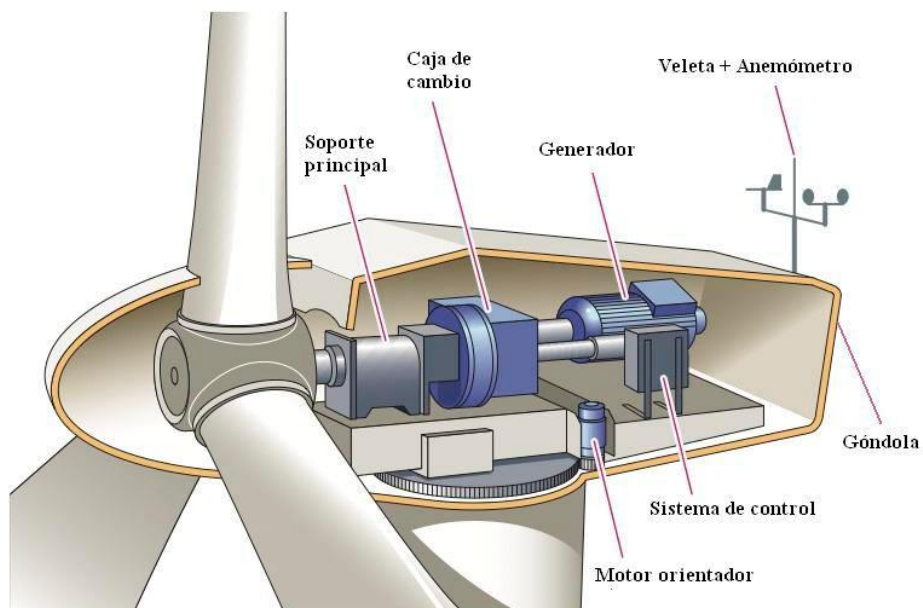
2.11. Irudia: A sotavento errotorea

Hau dela eta, proiektu honetan a barlovento kokatutako aerosorgailu tripala bat aukeratuko da.

2.11. AEROSORGAILUAREN ATALAK

Aerosorgailu bat osatzen duten atal nagusiak hurrengoak dira:

1. Bujea
2. Palak
3. Sudurra
4. Gondola
5. Egitura edo bankada
6. Sorgailu elektrikoa
7. Ardatz geldoa
8. Biderkatzailea
9. Abiadura handiko ardatza
10. Balazta
11. Orientazio sistema
12. Anemometroa
13. Haize-orratza
14. Kontrolagailua
15. Dorrea
16. Zimentazioa



2.12. Irudia: Aerosorgailu baten atalak

2.11.1. Bujea

Bere gainean ardatz bat sostengatu edo biratu egiten den makinaren elementua da. Metalezko zilindro bat eusten duen pieza simple bat edo eta euste puntu bat osatzen duten osagai multzo konplexu bat izan daiteke. Orokorrean, bi buje mota desberdintzen dira: buje zurruna eta buje baskulagarria.

1. **Buje zurruna:** Palak bujera torloju bidez lotzen dira eta azken hau, biraketa ardatzera finkotzen da. Sistema honekin, haizeak paletan eragindako indar guztiak transmitituko dira. Sistema hau, tripaletan erabiltzen da orokorrean, errotorea dinamikoki orekatuta egoteko.
2. **Buje baskulagarria:** Mota hau, transmititutako indarrak txikitzeko erabiltzen dira. Bujea transmizioarekin lotzen den puntuan askatasun gehiago dauka. Sistema hauek, aerosorgailu bipaletan erabiltzen dira.

Proiektu honetan, buje zurrun bat erabiltzea erabaki da, aerosorgailua lehen esan bezala, tripala izango delako. Hona hemen argazki bat:

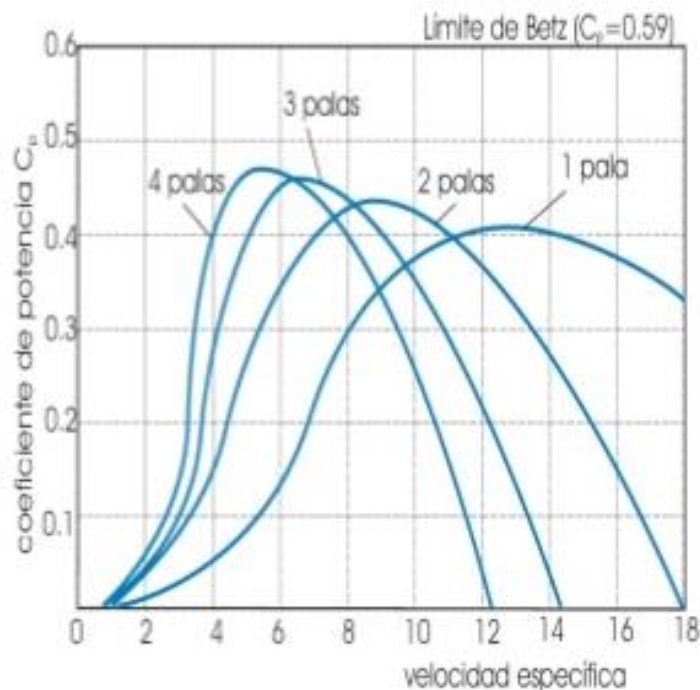


2.12. Irudia: Aerosorgailu baten bujea

2.11.2. Palak

Palak aerosorgailuaren elementu garrantzitsuenetarikoak dira, haizearen energia zinetikoa aprobetxatzeaz arduratzen direlako. Beraz, errendimendua ahalik eta hobea izateko, diseinatu beharreko parametro garrantzitsuenetako bat erabili beharreko profil mota da. Palak haizearen mugimendu lineala biraketa-mugimendu bihurtzen dute, biraketa hau transmisioaren sarrerako ardatzari transmitituz. Aurretiaz esan bezala, palen biraketaz eratutako planoak haizearen abiadurarekin ahalik eta perpendikularrena izan behar du.

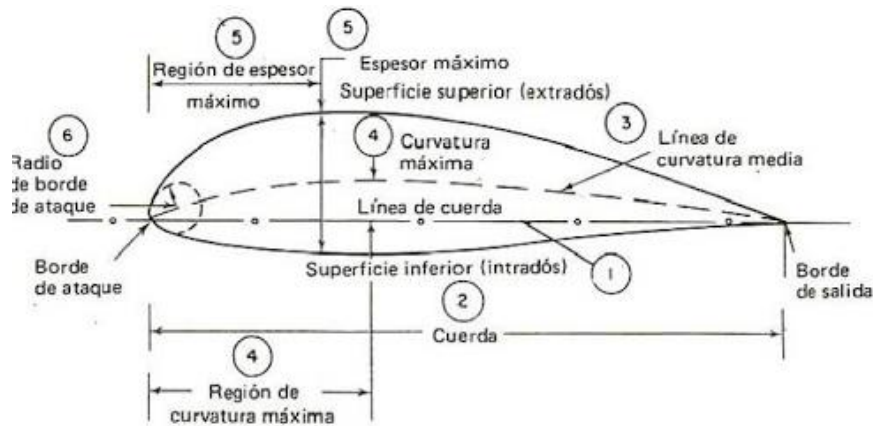
Palen kopurua beste faktore determinatzaile bat da, pala kopuruaren arabera potentzia koefizientea desberdina baita. 1 eta 2 pala erabiltzeak potentzia koefizientearen %10 handitzea esan nahi du, 2 eta 3 pala, %4, handitzea eta 3 eta 4 pala erabiltzeak %1 gehitzea. Horregatik, pala kopuru eraginkorra hiru palakoa da, lau palekin lortutako onura oso txikia baita. Hurrengo irudian hau argi ikus daiteke:



2.13. Irudia: Potentzia koefizientearen balioa pala kopuruaren arabera

Ikus daitekeenez, 3 paladun errotoretik 4 paladun errotorera potentzi koefizientearen (y ardatza) dagoen igoera ia ez da antzemangarria.

Normalean aerosorgailuetan gehien erabiltzen diren profilak sektore aeronautikoan erabilitako berdinak dira: NACA 44XX, NACA 63-XXX eta NACA 230XX serieak. Hurrengo irudian NACA profil baten parametro geometrikoak agertzen dira:



2.14. Irudia: NACA profilaren parámetro geometrikoak

Lau digituko NACA profiletan: lehenengo zenbakiak erdiko lerroaren gehieneko gezia adierazten du portzentaian (%) sokarekiko (f / c), bigarrenak aurreko magnitudearen distantzia puntako ertzarekiko (xf) eta azken bi zifrak sokaren aldean erlatiboki gehienezko lodieraren balioa adierazten dute (d / c).

Hona hemen mota honetako pala baten argazki bitxi bat (Munduko aerosorgailu handienaren pala. Luzera: 107 metro):



2.15. Irudia: Munduko NACA profil handiena

Normalean aerosorgailuen paletan erabilitako materiala, material konposatua da. Gaur egun, material konposatu erabiliena zuntzeko beira da poliesterrezko erretxinarekin (GRP). Bere abantaila garrantzitsuenak egiturazko erresistentzia eta nekearekiko erresistentzia handiak dira. Beste alde batetik, ez du fabrikazio prozesu konplexuen behar izanik eta tximisten babeserako oso interesgarriak dira hedapen koefiziente baxua eta eroankortasun elektriko txikia direla eta.

Azken material berrienak karbono zuntz konposatuz osatutako materialak dira (CFRP). Bere desabantaila esanguratsuena kostu handiegia duela izango litzateke, beraz, bere erabilera sektore aeronautikora mugatzen da.

Palek entsegu ezberdinak jasan behar dituzte baliozkoak direla egiaztatzeko. Hurrengo hauek dira nabarmengarrienak:

-Proba elastikoa: Palari balio handiko karga bat aplikatzen zaio denbora tarte labur batez (10 edo 15 segundo) pala bi norabideetan okertuz.

-Proba dinamikoa: Palak bere maiztasun naturalaren maiztasun berdineko oszilazioak jasan behar izango ditu. Horrela, palak deformazioak eta haustura txikiak izan ditzake. Hauek galga eta kamera infragorrien bidez kontrolatzen dira.

-Haustura proba: Proba mota hau prototipo edo material berriekin egiten da. Proba honetan karga estatiko bat aplikatzen da haustura eragingo duena eta gero haustura puntu hau analizatu egingo da.

Hurrengo irudietan pala bat ikus daitezke aurretiaz azaldutako probak jasaten aerosorgailuen entsegu laborategi batean:



2.16. Irudia: Aerosorgailu txiki bateko palaren entsegua



2.17. Irudia: Aerosorgailu handi baten pala bat entsegu bat jasaten

2.11.3. Sudurra

Sudurra haizeari aurre egin eta desbideratzen duen metalezko estalki konikoa da. Bere forma aerodinamikoa turbulenzia ekiditeko da. Hurrengo irudian elementu hau ikus daiteke:



2.18. Irudia: Aerosorgailu baten sudurra

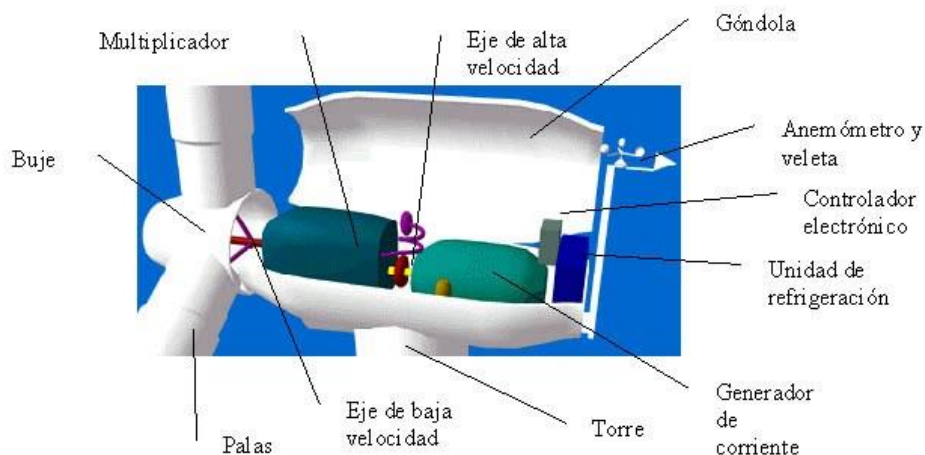
2.11.4. Gondola

Gondolaren funtzioa, potentzia trena babestea eta honek sortutako zarata akustikoa gutxitzea da. Dorrearen goikaldean kokatzen da eta beira zuntza edo eta altzairuzkoak izaten dira. Honek dorrearen inguruan biratu ahal izango du, orientazio sistema baten bidez, palak uneoro haizearen perpendikular egon daitezten. Gondolaren atzekaldean, anemometroa eta haize-orratza kokatzen dira datu eolikoak lortu ahal izateko. Hona hemen egitura honen argazki bat:



2.19. Irudia: Aerosorgailu baten gondola

Hurrengo irudian ere ikus daiteke zer nolako garrantzitsua den egitura hau biderkatzailea eta sorgailu elektrikoa babesteko. Zerbitzuko langilea gondolara sartu daiteke turbina dorretik.



2.20. Irudia: Gondolak babesten dituen elementuak

2.11.5. Sorgailu elektrikoa

Turbina eolikoentzako sorgailu elektrikoek, energia mekanikoa energia elektriko bihurtzen dute. Sorgailu hauek desberdinak izaten dira sarearekin konektatuta daudenekin alderatzen badira. Arrazoietako bat da sorgailua hornitzen duen energia-iturria (aerosorgailuaren errotorea) energia mekaniko (pare tortsorea) oso aldakor batekin egin behar duela lan.

2.11.5.1. Voltaiaren sorrera (tentsioa)

Aerosorgailu handietan (100-150 kW baino gehiago) turbinak sortutako voltaia (tentsioa) normalean korrante alferno trifasikoko 690 V izaten dira. Korrantea aerosorgailuaren ondoan edo dorrearen barruan kokatzen den transformadore baten bidez igortzen da, tentsioa 10.000 eta 30.000 volt arteko puntu batera igotzeko, tokiko sarearen estandarren arabera.

Fabrikatzaile handiek halako sorgailuen modeloak eskaintzen dituzte. 50 Hz-ko modeloak (munduko toki gehienetan sare elektrikoetan erabiliak) eta 60 Hz-koak (Estatu Batuetako sare elektrikoentzako).

2.11.5.2. Errefrigerazio sistema

Sorgailuak errefrigeratu egin behar dira funtzionatzen duten bitartean. Turbina gehienetan sorgailua hodi batean enkapsulatzen da eta airea hozteko haizeagailu handi bat erabiltzen da.

Hala ere, fabrikatzaile batzuek urez hoztutako sorgailuak erabiltzen dituzte sorgailu mota hauek modu trinkoagoan eraiki daitezkeelako eta gainera efizientzia elektrikoaren abantaila batzuk ere badituzte, nahiz eta gondola barruan erradiadorea behar izan hozteko sistema likidoaren beroa kentzeko.

2.11.5.3. Sorgailu eta sarearen konexioen diseinu aukerak

Aerosorgailuak sorgailu sinkrono edo asinkronoekin diseinatu daitezke eta sorgailua sarera zuzeneko edo zeharkako konexioa izan dezake.

Sare zuzeneko konexioak esan nahi du sorgailua zuzenean tentsio alferno sarera konektatuta dagoela (normalean trifasikoa). Zeharkako sarera konektatzeak

turbinaren korronea gailu elektriko batzuetatik pasatzen dela esan nahi du, korronea doitzeko asmoz. Sorgailu asinkrono batekin hau automatikoki gertatuko litzateke.

2.11.5.4. Korronte zuzeneko sorgailuak

Korronte zuzeneko ohiko makinetan, eremua estatorean dago eta armadura errotorean kokatzen da. Estatorea hainbat poloz osatzen da eta hauek iman iraunkor edo korronte zuzeneko eremuen ondorioz kitzikatzen dira.

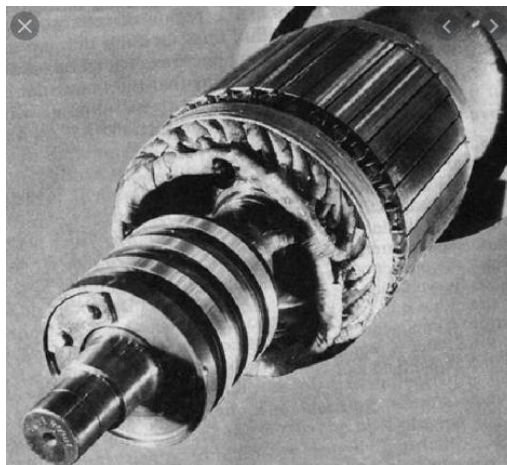
Orokorrean, korronte zuzeneko aerosorgailuak ez dira ohikoak haize turbinen aplikazioetan, energia eskari txikia duten egoeretan izan ezik, karga eolikoarekiko fisikoki gertu dagoenean berotze-aplikazioentzako edo batería kargatzeko aplikazioentzako.

2.11.5.5. Erabili ohi diren motak

Energia eolikoa ekoizteko, hurrengo sorgailu motak erabiltzen dira:

1. **Urtxintxa-kaiola errotoredun sorgailu asinkronoa:** Errotorearen abiadura konstantea denean erabiltzen dira.
2. **Errotore harilkatua edo bobinatua duen sorgailu asinkronoa:** Errotorearen abiadura konstantea ez denean erabiltzen dira.
3. **Sorgailu sinkrono multipoloa:** Errotorearen abiadura konstantea ez denean erabiltzen dira.

Beraz, proiektu honetan urtxintxa-kaiola errotoredun sorgailu asinkrono bat erabiliko da. Hona hemen argazkia:



2.21. Irudia: Sorgailu elektrikoa

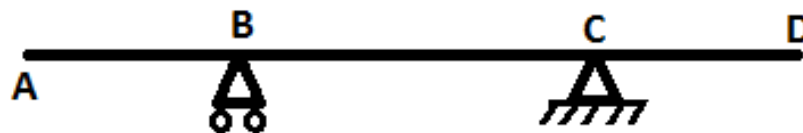
2.11.6. Ardatz geldoa

Aerosorgailuaren abiadura baxuko ardatzak errotoreko bujea biderkatzailearekin lotzen duen ardatza da. Sarritan, bertan kokatzen da baita sistema hidrauliko eta elektrikoaren konduktuak, balazta aerodinamikoak eta errotore sentsoreen kontrola gidatzeko.

Ardatz honen diseinuaren kasuan, hiru aukera desberdin daude:

- 1. Bereizitako euskarriduna:** Dorrean bankada bat finkatzen da, eta bertan bi euskarriren gainean ardatza finkatzen da. Abantailarik handiena, biderkatzaileara soilik tortsorea transmititzen dela izango litzateke. Daukan desabantaila handiena, pisua izango litzateke.
- 2. Biderkatzailean integratutakoa:** Disposizio mota honetan, errotorearen ardatza biderkatzailearen toki berean finkatzen da. Desabantaila aipagarriena ekonomikoa izango litzateke, biderkatzailea aurreko disposizioan baino askoz garestiagoa izango litzatekeelako. Abantaila handiena, pisu aldetik izango litzateke eta baita behar den espazioaren aldetik.
- 3. Euskarri finkoduna:** Aurreko disposizioetan, ardatzak makurdura momentu handiak jasan behar ditu. Disposizio honetan hau gutxitzea bilatzen da. Kasu honetan, hainbat aukera desberdin daude, esaterako, ardatza gondolara finkatuz.

Proiektuan, lehengo aukera erabiltzea aukeratu da batez ere ikuspegi ekonomikoa dela eta.



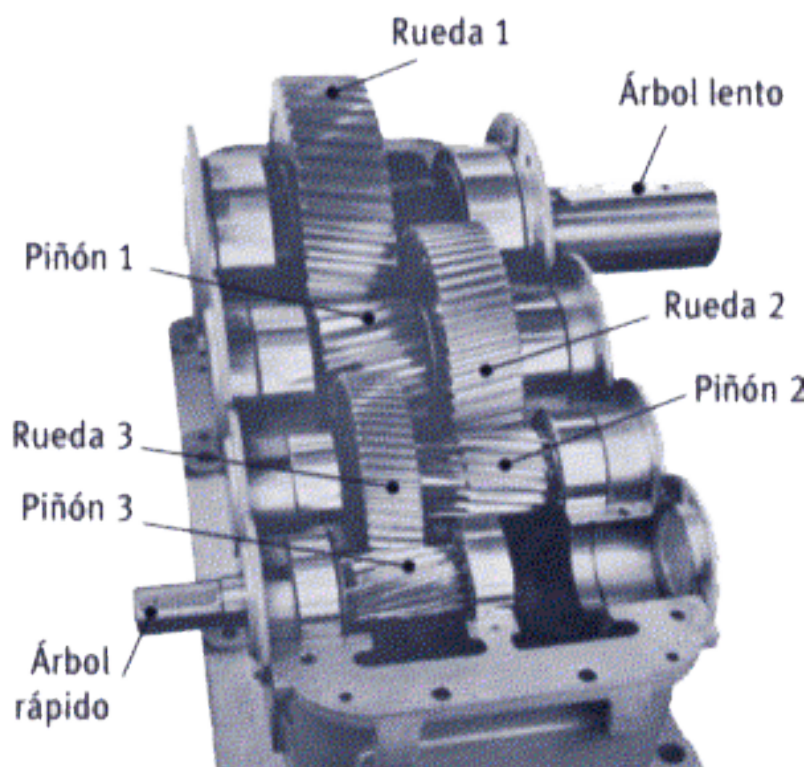
2.22. Irudia: Aukeratutako ardatz geldoaren adibide eskema

2.11.7. Biderkatzailea

Aerosorgailu bateko biderkatzaileak, biraketa abiadura biderkatzeaz arduratzen da eta ardatz horren gain sortzen den indarra proportzio berean banatzen duen elementua da.

Palen biraketa-abiadura (aerosorgailuan kanpotik mugitzen ikusten dugun elementua) normalean 15 eta 25 rpm artean dago, haize eta aerosorgailuaren eraikuntzaren arabera. Nazio eta nazioarteko sareen maiztasun elektrikoak direla eta (50 Hz Europan esaterako, eta 60 Hz Estatu Batuetan), inflexio abiadura hori ez da nahikoa eta biraketa erregimen handiago batera igo beharra dago. Biraketa abiadura hau, 1200 - 1800 rpm-raino igo behar da sorgailu motaren eta maiztasunaren arabera.

Elementu hau zenbait engranaiez osatuta dago, eta hainbat fasetan (normalean 3 eta 4 fase artean) banatuta dago. Beraz, biderkatzailearen etapa bakoitzean biraketa abiadura kefiziente batez handituko da.



2.23. Irudia: 4 faseko biderkatzailea

Aerosorgailuen errendimenduaren galerarik handiena, biderkatzailean gertatzen da. Galera hau ahalik eta txikiena izan dadin, engranaiek olio lubrifikatzailean murgiltzen dira normalean, eta olio horrek zirkuitu baten zehar zirkulatzen du fluidoa iragazi, hoztu eta elementu guztietatik banatzen duena. Zirkulazio sistema hau elementu ezberdinek osatzen dute. Olio zirkuituan zehar zirkulatzera behartzen duen motor ponpa-talde bat dago, zeinek olio a igoarazten duen hau hozten duen intercooler bateraino. Ondoren, iragazki baten zehar igarotzera behartzen du eta bertan metatutako ezpurutasunak altuak altuak badira sentsore baten bidez abisua emango da.



2.24. Irudia: Iragazki sistema

Gaur egun, aipagarria da aerosorgailuen sektoreko enpresa garrantzitsuenak teknologia desberdinak garatzen ari dira (polo anitzeko sorgailua horietako indartsuena da) biderkatzailea kendu eta, horrela, errendimendu handiagoa lortzeko, matxurak gutxitzeko eta pisua murrizteko (normalean elementu honek 15 tona inguru pisatzen ditu aerosorgailuaren potentzia nominalaren arabera) eta, horrela, aerosorgailua errentagarriagoa bihurtuko litzateke.

Harira bueltatuz, pala kopuruaren arabera, biderkatzaile mota desberdinak daude. Kasu hontan, aurretiaz esan bezala, tripala bat erabiliko da eta beraz, hauetan sakonduko da.

Disenua egitean, aerosorgailuaren potentzia izango da aldagai garrantzitsua. Potentzi txiki edo ertaina dutenean, hau da, 500 Kw baino gutxiago, ardatz paralelodun biderkatzaileak erabiltzen dira. Potentzia handia dutenean, ordea, ardatz planetariodun etapak dituzten biderkatzaileak erabiltzen dira, azken etapa paraleloa izanik. Hauek pisu gutxiago izaten dute eta gainera erresistentzia aldetik ere fidagarriagoak dira. Beraz proiektu honetan halako etapak erabiliko dira.

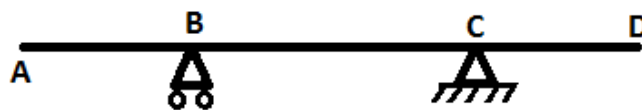


2.25. Irudia: Etapa planetariodun biderkatzailea

2.11.8. Abiadura handiko ardatza

Aerosorgailuaren abiadura handiko ardatzak biderkatzailearen irteera sorgailu elektrikoarekin lotzen du. Gutxi gora-behera 1500 rpm-ko biraketa abiadura bat izaten du, sorgailu elektrikoaren funtzionamendua ahalbidetzeko. Ardatz hau, larrialdietarako disko mekaniko bidezko balazta batez hornituta egoten da, biraketa abiadura altuegia den kasuetarako.

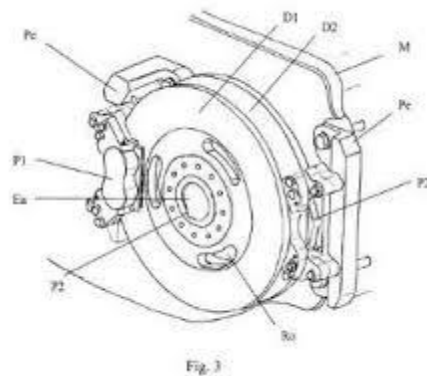
Ardatz geldoak bezala, disposizio desberdinak izan ditzake. Hala ere aukera aurreko atalean egin den bera izango da. Beste alde batetik, sekzio tubularra edo betea erabili daiteke. Kasu hontan betea erabiliko da sinpletasuna dela eta, nahiz eta sekzio tubularrak abantaila batzuk izan ditzakeen indarrak jasaterako orduan edo eta pisu aldetik.



2.26. Irudia: Aukeratutako abiadura handiko ardatzaren adibide eskema

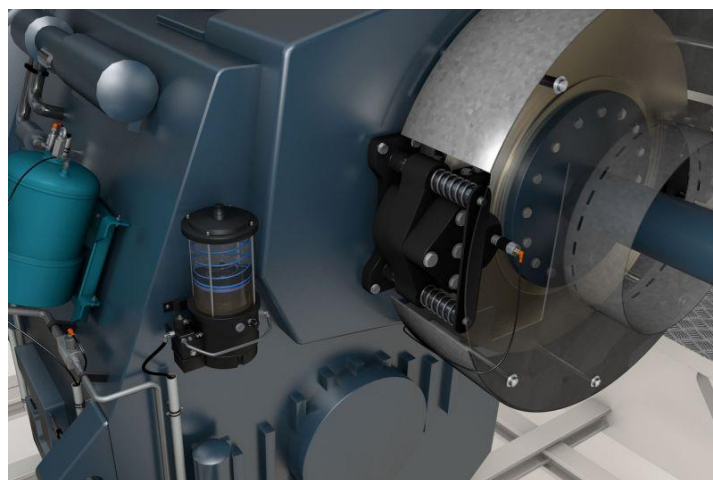
2.11.9. Balazta

Bere eginkizuna aurretiaz esan bezala, biderkatzaileak abiadura handiegiak hartzea saihestea da, haize bolada indartsuak direla eta adibidez. Honi esker, engranaien higadura ere murrizten da.



2.27. Irudia: Balaztaren eskema

Orokorrean, ardatz horizontaleko aerosorgailuetan disko bidezko balaztak erabiltzen dira. Disko hau geldiarazteko, bi pastilla dauzka eta marruskadura bidez funtzionatzen dute. Hauek, elektrikoki, pneumatikoki edo hidraulikoki aktibatu daitezke. Diseinu aldetik, non kokatu erabaki behar da. Hau, ardatz geldoan edo eta abiadura handikoan koka daiteke. Baina kontuan izanik abiadura handiagokoak tortsoare txikiagoa izango duela, ardatz honetan kokatzea da ohikoena eta horrela egingo da proiektuan ere. Honi esker, diskoaren diametroa txikiagoa izan daiteke.



2.28. Irudia: Aerosorgailu baten balastaren itxura

2.11.10. Orientazio sistema

Aerosorgailu handietan beharrezkoa da aerosorgailuaren pàlak haizearen norabidearen kontra jartzen dituen sistema bat. Horretarako hortz bidez funtzionatzen duen koro bat erabiltzen da, motore elektriko batzuen bidez akzionatzen dena. Posizio egokiaren informazioa, haize-orratzaren eta anemometroaren bitartez lortzen ditu.

Orientazio akats batek, errotorearen eremutik energia eolikoaren proportzio txikiago bat pasatuko dela esan nahi du. Hori gertatzen den gauza bakarria izango balitz, orientazio-mekanismoa aerosorgailuaren errotorearen sarrerako potentzia kontrolatzeko modu bikaina izango litzateke. Hala ere, haize-iturriaren norabidetik hurbilen dagoen errotorearen zatia, gainontzeko errotorearenak baino esfortsu handiagoa (makurdura momentua) jasan beharko du.

Normalean a barlovento kokatzen diren aerosorgailuek, bi motore elektriko izaten dituzte, bata eskuinera biratzeko, eta bestea ezkerrera biratzeko. Motore hauek piñoi bat pizten dute eta honek engranaia mugiarazten du, gongolara finkatuta dagoena. Haginei dagokienez, barnekaldekoak erabiltzen dira aerosorgailuetan, motoreak eta haginak egituraren barnealdean gera daitezzen babesturik.



2.29. Irudia: Orientazio-sistema

2.11.11. Anemometroa

Haizearen abiadura neurtzeko erabiltzen dira. Anemometroaren seinale elektronikoak aerosorgailuaren kontrol elektronikoak erabiltzen ditu haize-turbina konektatzeko haizeak 5 m/s inguruko abiadura duenean.

Anemometro mota desberdinak daude:

1. **Anemometro mekanikoak:** Biraketa bidezkoak.
2. **Hari bero baten hozketa abiadura kontuan hartzen dutenak.**
3. **Pitot hodia duen anemometroa:** Presio aldaketa neurtzen du.
4. **Doppler efektua aplikatzen dutenak:** Ultrasoinuak erabiliz.

Gaur egun erabilienak anemómetro mekanikoak dira, ekonomikoak eta fidakorrak direlako. Aerosorgailuetan orokorrean huaek erabiltzen dira haize-orratzarekin batera. Erabiltzen den sistema haizearekin bat biratzeko helize bidezkoa izan ohi da. Hona hemen argazkia:



2.30. Irudia: Anemometroa

2.11.12. Haize-orratza

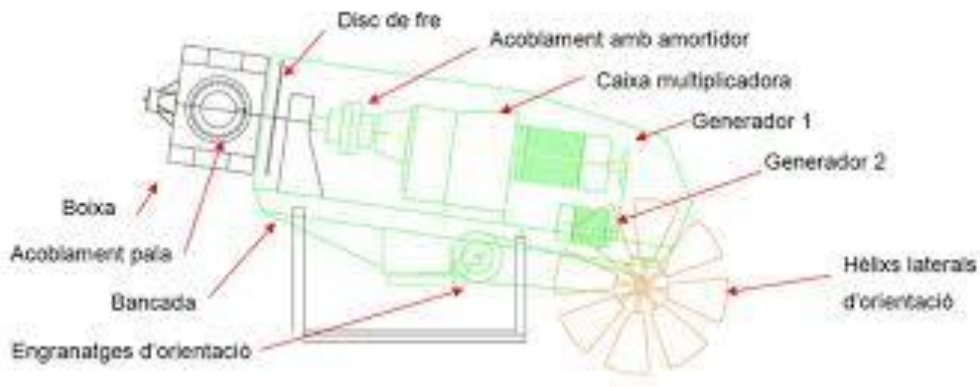
Haizearen norabidea neurtzeko erabiltzen dira. Haize-orratzaren seinaleak aerosorgailuaren kontrolagailu elektronikoak erabiltzen ditu haize-turbina haizearen noranzkoaren aurka biratzeko, orientazio-mekanismoa erabiliz. Normalean haizea aldakorra denez, bai abiaduran eta bai noranzkoan, hamar minutuko batez bestekoak egiten dira. Hona hemen argazkia:



2.31. Irudia: Haize-orratza

2.11.13. Bankada edo egitura

Aerosorgailuaren bankada transmisioa jartzen den metalezko egitura da. Egitura horretan abiadura baxuko, abiadura handiko eta tarteko ardatzetako euskarriak finkatzen dira. Bestalde, aerosorgailuaren gelditzeaz arduratzen den balazta-diskoa kokatzeko ere erabiltzen da.



2.32. Irudia: Aerosorgailu baten elementuak

2.11.14. Kontrolagailua

Aerosorgailuaren kontrolagailua aerosorgailuaren baldintzak etengabe kontrolatzen dituzten ordenagailuek osatzen dute eta funtzionamenduari buruzko estatistikak biltzen dituzte. Izenak dioen bezala, kontrolatzaileak turbina barruan etengailu, ponpa hidrauliko, balbula eta motor ugari kontrolatzen ditu.

Aerosorgailuaren tamaina megawatteko makinetara hazten denean, are garrantzitsuagoa da erabilgarritasun tasa handia izatea, hau da, denbora guztian segurtasun osoz lan egitea.

Halako aerosorgailuetan erabiltzen diren sistemak hiru motatakoak izan daitezke:

1. Galera aerodinamikoaren kontrol pasiboa
2. Angelu aldakorraren araberako kontrol pasiboa
3. Galera aerodinamikoaren kontrol aktiboa

Galera aerodinamikoaren kontrol pasiboa

Sistema mota honetan, palak errotorearen bujera sendo finkatuta daude. Aerosorgailu eredu batzuetan, bere muturrean biraketa baimentzen da balazta aerodinamiko gisa joka dezan. Potentziaren erregulazioa, bereziki diseinatutako pala profil bat erabiliz lortzen da, non galera aerodinamikoa handitzen den haizearen abiadura handitu ahala.

Haizearen abiadura handitzen doan heinean, errotorera transmititzen den potentzia handitzen da eta abiadura horrek balio zehatz bat lortzen duenean, palaren profilaren diseinuari esker turbulentsiak garatzen hasten dira. Horrela, galera aerodinamiko handiagoak agertzen hasten dira eta ondorioz potentzia mugatzen hasten da. Haizearen abiadura, haize-turbinaren geldialdi abiaduraren baliora heltzen bada, galera aerodinamikoak hain handiak izango dira errotorea erabat gelditzea eragingo dutela.

Angelu aldakorraren araberako kontrol pasiboa

Sistema honetan, palak bere ardatzaren inguruan biratu daitezke eta honela lortzen da erregulazioa. Horrela, haizearen eraso angelua aldatu egiten da eta ondorioz paletan jarduten duen indar aerodinamikoak aldatu egiten dira. Kontrola independentea da pala bakoitzean eta sistema mekaniko baten bidez lortzen da.

Haize-turbina hauetan funtzionamendu-abiadura nominala baino txikiagoa den haize-abiadurarako, angelua doitzen da potentzia handiena ateratzeko. Aldiz, abiadura nominaletik gorako abiadurekin, angelua doitzen da potentzia etengabe mantentzeko.

Sistemak, funtzionamendu optimoa lortzeko, haizearen abiadura etengabe neurtzen du eta kontrol seinaleak bidaltzen ditu. Normalean, motor hidrauliko edo elektriko batek gidatzen du.

Galera aerodinamikoaren kontrol aktiboa

Aurreko bi sistema eragileak partekatzen dituen sistema da. Palak 10° biratu dezakete gehienez profila bera doitzeko asmoz, eta haizearen abiadurak, abiadura nominala gainditzen duenean, palaren pasoa murrizten da galera aerodinamikoak areagotzeko asmoz.



2.33. Irudia: Kontrolagailua

2.11.15. Dorrea

Aerosorgailu baten dorreak gondola eta errotorea eustiaz arduratzen da. Aerosorgailu handietan dorreak tubularrak eta altzairuzkoak edo sareta bidezkoak izan ohi dira.

1. Altzairuzkoak

Aerosorgailu handietan, gehienak altzairuzko dorre tubularrekin hornitzen dira, 20-30 metroko ataletan fabrikatuta eta pernoekin "in situ" lotzen dira. Dorreak enbor konikoak dira (hau da, oinarrira hurbildu ahala, gero eta diametro handiagoa dute), erresistentzia handitzeko eta, aldi berean, materiala aurrezteko.



2.34. Irudia: Altzairuzko dorre tubularra

2. Sareta bidezkoak

Saretako dorreak altzairu soldatutako profilak erabiliz fabrikatzen dira. Dorre hauen oinarrizko abantaila, haien kostua da, zintzilikariko dorre batek dorre tubular baten materialaren erdia baino ez baitu, zurruntasun berdinekin laguntza gehigarririk gabe. Dorre mota honen desabantaila nagusia bere itxura bisuala da (nahiz eta gai hori eztabaidagarria izan). Nolanahi ere, arrazoi estetikoengatik, sareta-dorreak ia desagertu egin dira aerosorgailu moderno handietan.



2.35. Irudia: Sareta bidezko dorrea

2.11.16. Zimentazioa

Aerosorgailu baten zimentazioak berezko garrantzia izango du egituraren funtzionamendua bermatzeko eta matxurak agertzea ekiditeko. Honetarako, lehenik exkabazio bat egingo da, non hasteko altzairuzko egitura zendo bat kokatuko da. Hondoren hormigoia botako da gainera, eta azkenik egitura hau lurrez estaliko da babesteko. Hurrengo argazkietan pauso hauek ikus daitezke (Texaseko parke eoliko batean muntatutako aerosorgailua):



2.36. Irudia: 3 metroko sakonerako exkabazioa



2.37. Irudia: Altzairuzko kaiola itxurako egitura (68,5 tonelada altzairu)



2.38. Irudia: 520 m3 hormigoi botatzea



2.39. Irudia: Egituraren estaltzea

2.12. METODOLOGIA

Atal honetan ekuazioak, hauen garapenak, taulak, erabilitako araudia eta transmisioaren kalkulatzeko jarraitutako pausoak zehaztuko dira.

2.12.1. Diseinuaren parametroak

Aerosorgailu mota eta pala kopuruaren arabera, egin beharreko kalkuluak desberdinak dira. Atal honetan honen inguruko parametroak zehaztuko dira:

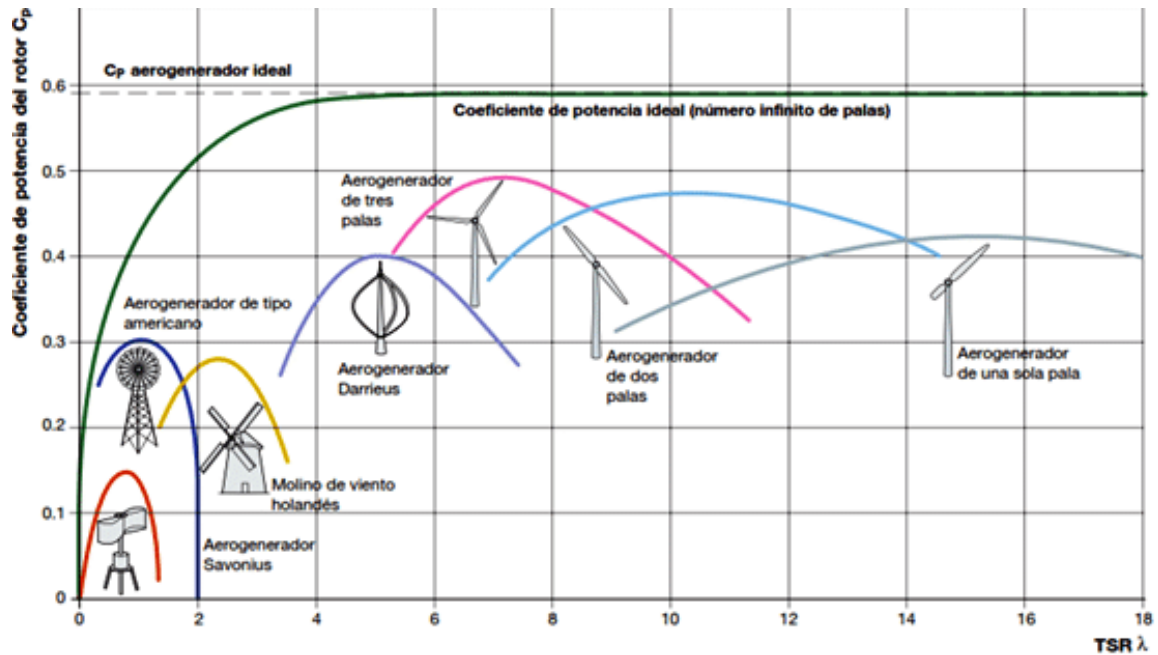
- 1. Abiadura espezifikoak:** Abiadura espezifikoak (λ) palaren muturreko abiadura linealaren (u) eta haizearen abiaduraren (v) arteko erlazio gisa definitzen da. Diseinu parametro hau desberdina izango da aerosorgailu mota desberdinetarako. Hona hemen formula:

$$\lambda = \frac{u}{v} = \frac{\Omega \cdot R}{\lambda} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot R}{60 \cdot v}$$

Non:

- u : Palaren muturreko abiadura lineala (m/s).
- Ω : Errotorearen biraketa abiadura (rad/s).
- n : Errotorearen biraketa abiadura (rpm).
- R : Errotorearen erradioa (m).
- v : Haizearen abiadura (m/s).

Parametro garrantzitsua da diseinatzeko unean, izan ere, balio horren arabera, palaren abiadura (u) desberdina izango da. Aerosorgailuaren errotore motaren arabera, λ parametro bat edo beste hartuko da. Hurrengo irudian, balore gidari desberdinak ikus daitezke:



2.40. Irudia: Balore gidaria aerosorgailuaren arabera

Kasu honetan, diseinatu beharreko aerosorgailuaren errorea hiru palaz osatuta dago, beraz 6-8 arteko balioa hartuko da. Aurretiaz esan bezala, λ balioa zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa da palaren abiadura (u) eta honek arazoak sor ditzake turbulentiak direla eta. Hori dela eta, kalkuluetan ikus daitekeen bezala, $\lambda = 7$ balioa hartuko da, aerosorgailuen diseinuan orokorrean balio hau hartzen baita eta horrekin batera dagokion potentzia koefizientea (C_p).

2. Potentzia koefizientea: Aurreko atalean azaldu bezala, potentzia-koefizientearen gehieneko balioa Betz-en mugaren arabera zehazten da. Bestalde, turbina mota edo haize-turbina motaren eta abiadura espezifikoaren arabera (λ), potentzia-koefizientea aldatzen da (Aurreko irudia). Kasu hontan, aerosorgailu tripala bat aukeratu denez, laburbilduz hurrengoak dira aukeratu diren parametroak:

$$\lambda_0 = 7 \quad C_p = 0,49$$

2.12.2. Elementu komertzialen aukeraketa

2.12.2.1. Errodamenduak

Atal honetan abiadura baxuko, abiadura handiko eta engranaje-kutxaren bitarteko ardatzetan erabilitako errodamenduak hautatzeko beharrezkoak diren adierazpen guztiak zehaztuko dira. Erabiliko diren errodamenduak, TIMKEN enpresakoak izango dira.



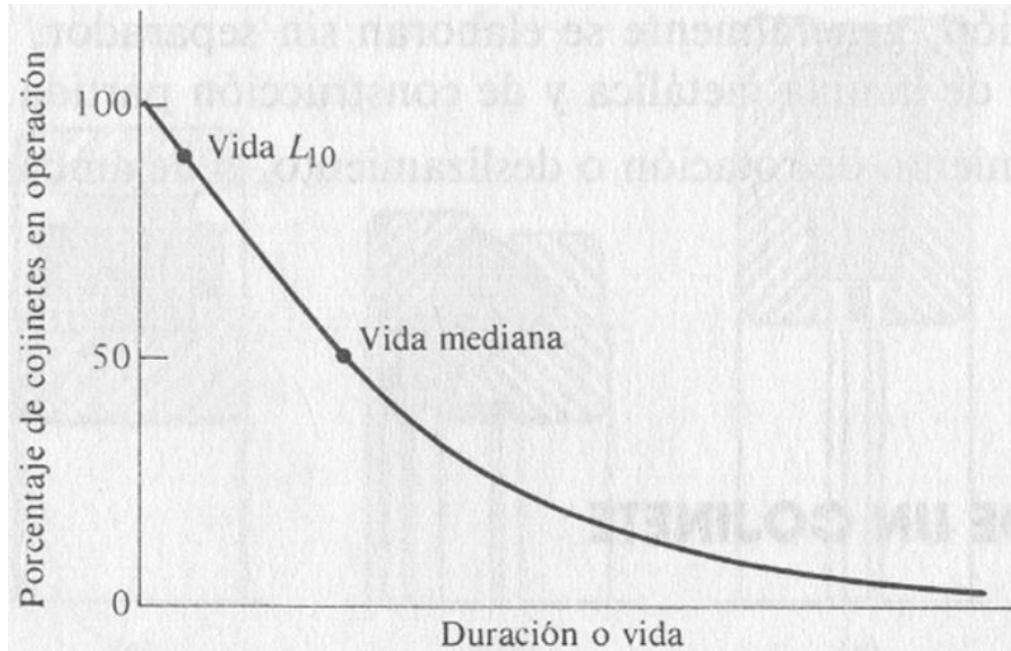
2.41. Irudia: Errodamendu zilindriko eta konikoa

1. Bizitza nominala

Lehen urratsa errodamenduen bizitza nominala zehaztea da. Errodaturako elementuak errodamenduko eraztunetan mugitzean, karga aldakorrak sortzen dituzte eta porrota nekera izango da. Porrota nekera, lehen sintomak agertzean gertatzen dela suposatzen da.

Errodamenduen bizitza, barneko eraztunak egiten dituen biraketa kopuruarekin zenbatzen da, kanpoko eraztuna finko baitago, nekearen lehen sintomak agertu arte. Nekearen fenomenoan sakabanaketa handia dagoenez, errodamendu-talde batekin egingo dira entseguak.

Bizitza nominala (L10) barne eraztunaren biraketa-kopurua da, porrota agertu gabe errodamendu berdinen taldeko% 90-ean.



2.42. Irudia: Bizitza erabilgarriaren grafikoa

Bizitza nominala honako adierazpen honekin lor daiteke errodamendu zilindrikoen kasuan:

$$L_{10} = \frac{L}{0,02 + 4,439 \cdot \left[\ln\left(\frac{1}{R}\right)\right]^{\frac{1}{1,483}}}$$

Non:

- R: Fidakortasuna
- L: Milioi biraketa

Errodamendu konikoen kasuan adierazpena hurrengoa da:

$$L_{10} = \frac{L}{4,48 \cdot \left[\ln\left(\frac{1}{R}\right)\right]^{\frac{1}{1,5}}}$$

2. Errodamendu zilindrikoen kalkulua

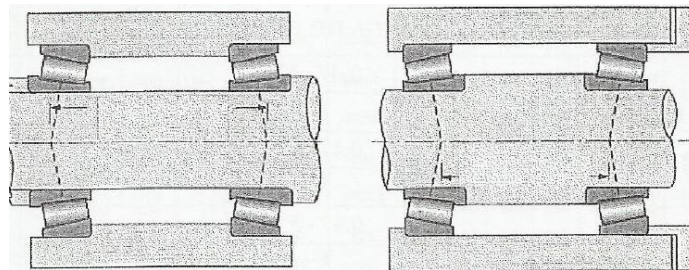
Errodamendu zilindrikoek karga erradikalak bakarrik xurgatu ditzakete. Beraz, errodamendu mota hau hautatzerakoan, kontuan hartu beharrekoa da.

Karga kapazitatearen kalkulua TIMKEN fabrikatzailearen arabera hurrengoa da:

$$C = F_{vB} \cdot (L_{10})^{\frac{1}{a}} \quad \text{non} \quad a = \frac{10}{3} \text{ errodamendu zilindrikoentzako}$$

3. Errodamendu konikoen kalkulua

Errodamendu konikoen karga erradial eta axialak jasan ditzakete. Hala ere, norabide bakarreko kargak baino ezin dituzte onartzen, bestela, muntaketa motaren arabera, barruko eraztuna mugitu daiteke. Hau dela eta, orokorrean hurrengo disposizioetan erabiltzen dira, “aurpegiz” edo “lepoz” deituak:

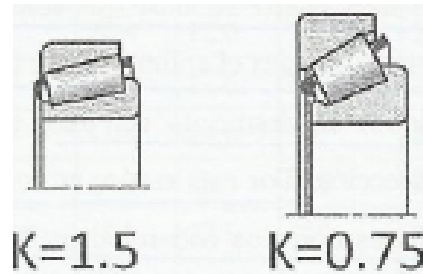


2.43. Irudia: Errodamendu konikoen disposizio desberdinak

Errodamendu mota honetan karga axiala induzitzen da bere gain aplikatu duten karga erradiala dela eta. Hau konititatearen araberakoa da. Induzitutako karga axiala adierazpen honen bidez lor daiteke:

$$F_a = \frac{0,47 \cdot F_r}{K}$$

K faktorea errodamenduaren geometriaren arabera da (Proiektuan zehar 1,5 balioa erabiliko da):



2.44. Irudia: Geometriaren eragina K faktorean

Kalkuluak egiteko, Timken fabrikatzailetik lortutako hurrengo taula jarraituko da:

Timken Method	
Thrust Condition $\frac{0.47F_{rA}}{K_A} \leq \frac{0.47F_{rB}}{K_B} + F_{st}$	Thrust Condition $\frac{0.47F_{rA}}{K_A} > \frac{0.47F_{rB}}{K_B} + F_{st}$
Net Bearing Thrust Load $F_{sA} = \frac{0.47F_{rB}}{K_B} + F_{st}$ $F_{sB} = \frac{0.47F_{rB}}{K_B}$	Net Bearing Thrust Load $F_{sA} = \frac{0.47F_{rA}}{K_A}$ $F_{sB} = \frac{0.47F_{rA}}{K_A} - F_{st}$
Dynamic Equivalent Radial Load Bearing A $P_A = 0.4F_{rA} + K_A F_{sA}$ if $P_A < F_{rA}$, $P_A = F_{rA}$ Bearing B $P_B = F_{rB}$	Dynamic Equivalent Radial Load Bearing A $P_A = F_{rA}$ Bearing B $P_B = 0.4F_{rB} + K_B F_{sB}$ if $P_B < F_{rB}$, $P_B = F_{rB}$

2.45. Irudia: Timken fabrikatzailearen kalkulu metodoa

Lehenik bultzada kondizioa aztertuko da hurrengo adierazpenaren laguntzaz:

$$\frac{0,47 \cdot F_{rA}}{K_A} \leq \frac{0,47 \cdot F_{rB}}{K_B} + F_{ae} \quad \text{edo} \quad \frac{0,47 \cdot F_{rA}}{K_A} > \frac{0,47 \cdot F_{rB}}{K_B} + F_{ae}$$

Ondoren, bultzada karga kalkulatu da:

$$F_{aA} = \frac{0,47 \cdot F_{rB}}{K_B} + F_{ae} \quad \text{eta} \quad F_{aB} = \frac{0,47 \cdot F_{rB}}{K_B}$$

edo

$$F_{aA} = \frac{0,47 \cdot F_{rA}}{K_A} - F_{ae} \quad \text{eta} \quad F_{aB} = \frac{0,47 \cdot F_{rA}}{K_A}$$

Jarraian, karga dinamiko baliokidea kalkulatu da:

$$P_A = 0,4 \cdot F_{rA} + K_A \cdot F_{aA} \quad \text{eta} \quad P_B = F_{rB}$$

edo

$$P_B = 0,4 \cdot F_{rB} + K_B \cdot F_{aB} \quad \text{eta} \quad P_A = F_{rA}$$

Azkenik, kapazitate dinamikoa kalkulatu da:

$$C \cdot 90^{\frac{1}{a}} = P_C \cdot (L_{10})^{\frac{1}{a}} \quad \text{non} \quad a = \frac{10}{3} \quad \text{errodamendu konikoentzako}$$

Proiektuan zehar, errodamendu koniko bikoitzak ere erabiliko dira. Hona hemen Timken fabrikatzailearen arabera hauek kalkulatzeko jarraitu beharreko pausuak:

Timken Method	
Thrust Condition $F_{at} > \frac{0.6 F_{rAB}}{K_A}$	Dynamic Equivalent Radial Load $P_A = 0.4 F_{rAB} + K_A F_{ae}$ $P_B = 0$ $P_C = F_{rC}$
Thrust Condition $F_{at} \leq \frac{0.6 F_{rAB}}{K_A}$	Dynamic Equivalent Radial Load $P_A = 0.5 F_{rAB} + 0.83 K_A F_{ae}$ $P_B = 0.5 F_{rAB} - 0.83 K_A F_{ae}$ $P_C = F_{rC}$

2.46. Irudia: Timken fabrikatzailearen kalkulu metodoa

Lehenik bultzada kondizioa aztertuko da hurrengo adierazpenaren laguntzaz:

$$F_{ae} \leq \frac{0,6 \cdot F_{rAB}}{K_A} \quad \text{edo} \quad F_{ae} > \frac{0,6 \cdot F_{rAB}}{K_A}$$

Ondoren, karga dinamiko baliokidea kalkulatu da:

$$P_A = 0,4 \cdot F_{rAB} + K_A \cdot F_{ae} \quad \text{eta} \quad P_B = 0$$

edo

$$P_A = 0,5 \cdot F_{rAB} + 0,83 \cdot K_A \cdot F_{ae} \quad \text{eta} \quad P_B = 0,5 \cdot F_{rAB} - 0,83 \cdot K_A \cdot F_{ae}$$

Azkenik, kapazitate dinamikoa kalkulatu da:

$$C \cdot 90^{\frac{1}{a}} = P_C \cdot (L_{10})^{\frac{1}{a}}$$

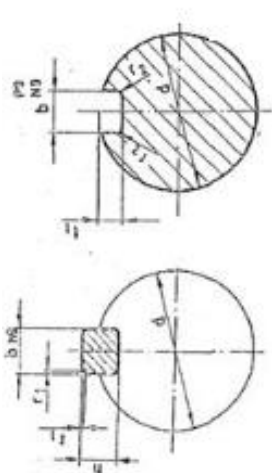
2.12.2.2. Txabetak

Txabetak engranaien eta ardatzen arteko lotura finkatzeko erabiliko diren elementu komertzialak izango dira.



2.47. Irudia: DIN-6885 txabeta

Aukeratutako txabetak DIN 6885 A motakoak izango dira, OPAC fabrikatzailearen eskutik.



DIAMETRO ARBOL	CHAVETAS DE AJUSTE PARALELAS				
	DIN 6885 - HOJA 1				
	d	b * h	t ₁	t ₂	r ₁ r ₂
6 - 8	2 * 2	1,2 + 0,1	1,0 + 0,1	0,2	0,2
8 - 10	3 * 3	1,8 + 0,1	1,4 + 0,1	0,2	0,2
10 - 12	4 * 4	2,5 + 0,1	1,8 + 0,1	0,2	0,2
12 - 17	5 * 5	3,0 + 0,1	2,3 + 0,1	0,3	0,2
17 - 22	6 * 6	3,5 + 0,1	2,8 + 0,1	0,3	0,2
22 - 30	8 * 7	4,0 + 0,2	3,3 + 0,2	0,5	0,2
30 - 38	10 * 8	5,0 + 0,2	3,3 + 0,2	0,5	0,2
38 - 44	12 * 8	5,0 + 0,2	3,3 + 0,2	0,5	0,3
44 - 50	14 * 9	5,5 + 0,2	3,8 + 0,2	0,5	0,3
50 - 58	16 * 10	6,0 + 0,2	4,3 + 0,2	0,5	0,3
58 - 65	18 * 11	7,0 + 0,2	4,4 + 0,2	0,5	0,3
65 - 75	20 * 12	7,5 + 0,2	4,9 + 0,2	0,7	0,3
75 - 85	22 * 14	9,0 + 0,2	5,4 + 0,2	0,7	0,5
85 - 95	25 * 14	9,0 + 0,2	5,4 + 0,2	0,7	0,5
95 - 110	28 * 16	10,0 + 0,2	6,4 + 0,2	0,7	0,5
110 - 130	32 * 18	11,0 + 0,3	7,4 + 0,2	0,7	0,5
130 - 150	36 * 20	12,0 + 0,3	8,4 + 0,3	1,1	0,8
150 - 170	40 * 22	13,0 + 0,3	9,4 + 0,3	1,1	0,8
170 - 200	45 * 25	15,0 + 0,3	10,4 + 0,3	1,1	0,8
200 - 230	50 * 28	17,0 + 0,3	11,4 + 0,3	1,1	0,8
230 - 260	56 * 32	20,0 + 0,3	12,4 + 0,3	1,8	1,4
260 - 290	63 * 32	20,0 + 0,3	12,4 + 0,3	1,8	1,4

2.48. Irudia: OPAC fabrikatzailearen txabeten espezifikazioak

Ikus daitekeenez, ardatzaren diametroak txabetaren altuera eta zabalera baldintzatuko ditu.

Txabetek bi arrazoirengatik huts egin dezakete. Beraz, hutsegite horietarako kalkulu egokiak egingo dira eta luzera murriztaileena aukeratuko da. Lehenik eta behin, gainean jarduten duen indarra kalkulatu behar da. Horretarako, diseinatzeko adierazpen hau erabiliko da:

$$F = \frac{T}{r}$$

Ondoren, ebakitzailera arabera egingo dira kalkuluak:

$$\tau_{\text{ebak}} = \frac{F}{A_{\text{ebak}}} \quad \text{non} \quad \tau_{\text{ebakmax}} = \frac{\tau_{\text{yp}}}{SK} = \frac{\tau_{\text{yp}}}{1,1}$$

Beste alde batetik, aplastamendua aztertuko da:

$$\sigma_{\text{aplast}} = \frac{F}{A_{\text{aplast}}} \quad \text{non} \quad \sigma_{\text{aplastmax}} = \frac{\sigma_{\text{yp}}}{SK} = \frac{\sigma_{\text{yp}}}{1,1}$$

Hauen laguntzaz, txabeten luzera minimoa finkatuko da eta hau baino luzeago bat aukeratuko da.

2.12.2.3. Segurtasun eraztunak

Errodamenduak ardatzarekin finkatzeko eta hauek ihes egitea ekiditzeko erabiliko dira. Zehazki, Rotor Clip enpresako DIN 471 segurtasun eraztunak erabiliko dira.

Eraztunak, katalogoko estandarren artean aukeratuko dira, bertan egongo diren ardatzaren diametroen arabera. Beraz, eraztunak aukeratzeko ez da beharrezkoa izango inolako kalkulurik egitea, besterik gabe, dagokion ardatz diametroari dagozkionak aukeratuko dira.



2.49. Irudia: Segurtasun eraztuna

2.12.2.4. Ardatz geldoa

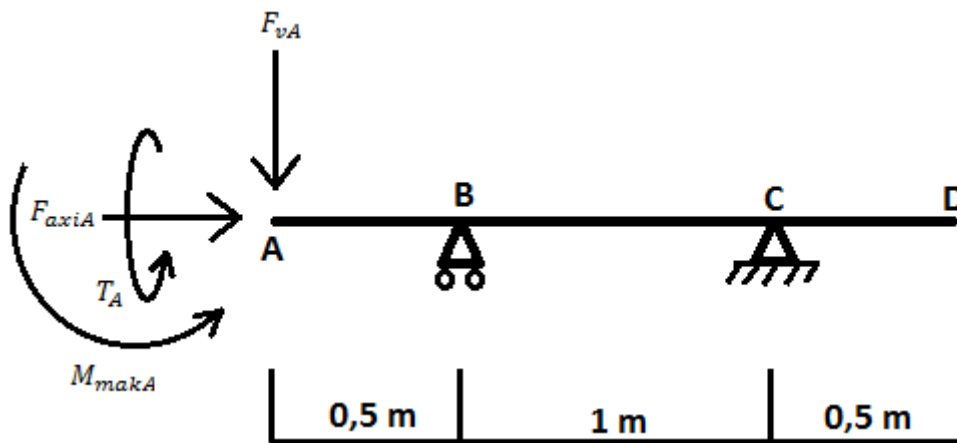
Abiadura baxuko ardatzak karga aldakorrek jasaten ditu denboran zehar, beraz, nekera dimentsionatuko da. Horretarako, ASME kodearen adierazpena erabiliko da. Nekera dimentsionatu ondoren, gainean muntatutako elementuen desbideratzei buruzko kontrolak egingo dira, errodamenduak zehazki, eta, azkenean, erresonantzia arriskurik ez dagoela egiaztatuko da.

1. Ardatz geldoan agertzen diren indarrak

Ardatz geldoak indar desberdinak jasan behar izango ditu:

1. Indar axiala
2. Indar bertikala
3. Momentu makurtzailea
4. Momentu bihurtzailea

Hurrengo irudian hau ikus daitezke indar hauek:



2.50. Irudia: Ardatz geldoan gaineko indarrak

Lehenik haizeak sortutako indarrak kalkulatu dira. Horretarako hurrengo formulak jarraitu dira:

$$dF_{axial} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot p \cdot l \cdot (1 + \cotg^2 I) \cdot (C_z \cdot \cos I + C_x \cdot \sin I) \cdot dS$$

$$dF_{tang} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot p \cdot l \cdot (1 + \cotg^2 I) \cdot (C_z \cdot \sin I + C_x \cdot \cos I) \cdot dS$$

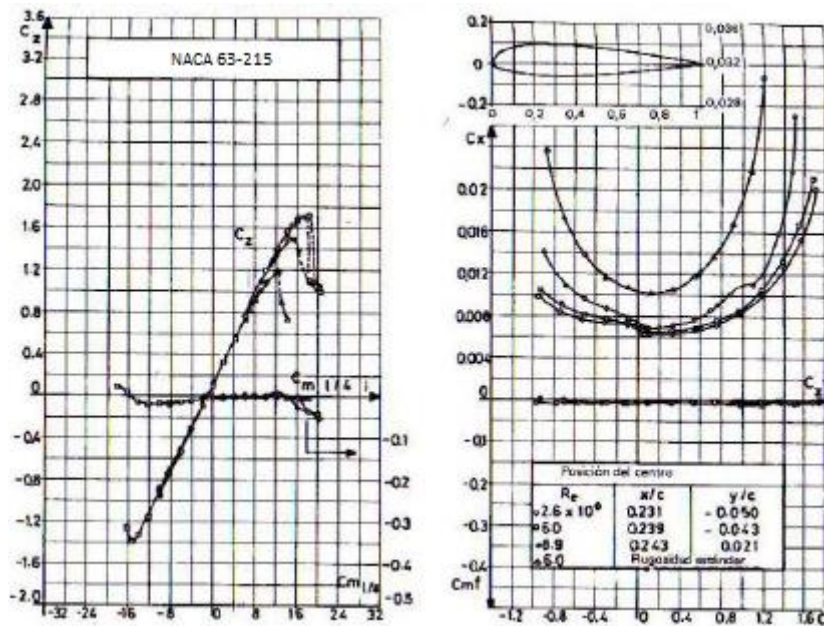
Aurreko ekuazioak integratzen badira r eta $r+dr$ artean, indarren eta momentuen hurrengo ekuazioak lortuko dira:

$$F_{\text{axial}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot p \cdot l \cdot (1 + \cotg^2 I) \cdot (C_z \cdot \cos I + C_x \cdot \sin I) \cdot [r]_r^{r+dr}$$

$$F_{\text{tang}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot p \cdot l \cdot (1 + \cotg^2 I) \cdot (C_z \cdot \sin I + C_x \cdot \cos I) \cdot [r]_r^{r+dr}$$

Non:

C_z eta C_x : Koefiziente hauek hurrengo iruditik jasoko dira.



2.35. Irudia: C_z eta C_x faktoreen baloreak aukeratutako palentzako

ρ : Haizearen dentsitatea. Funtzionamendu baldintza normaletan bere balioa hurrengo izango da.

$$\rho = 1,27 \text{ kg/m}^3.$$

V : Haizearen abiadura paletatik pasatzean.

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

V_1 : Haizearen abiadura paletatik pasatu aurretik.

$$V_1 = 15 \text{ m/s}$$

V_2 : Haizearen abiadura paletatik pasatu ondoren lortutako potentzia maximoa dela suposatuz:

$$V_2 = \frac{V_1}{3} = 5 \text{ m/s}$$

dS : Gainazal diferentziala.

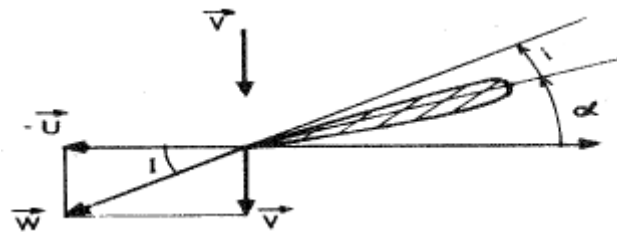
$$dS = p \cdot l \cdot dr$$

p : Pala kopurua. Kasu honetan hiru, makina tripala bat aukeratu delako.

l : Palaren lodiera diferentzialaren sekzio bakoitzean.

dr : Sekzioen arteko distantzia. Kasu honetan 0,25 m hartu da.

I : Inklinazio angelua. Abiadura erlatiboaren (w) eta abiadura bektorearen (U) artean osatzen den angelua.



2.51. Irudia: Palen angelu esanguratsua

Bere r -en arabeko balore optimoa kalkulatzeko hurrengo formula jarraituko da:

$$\cotg I = \frac{3}{2} \cdot \lambda_0 \cdot \frac{r}{R}$$

Non:

R : Palen puntak errotorearen inguruan biratzen duten zirkunferentziaren erradioa.

r : Palen sekzio ezberdinek errotorearen inguruan biratzen duten zirkunferentziaren erradioa.

$$r_{\min} = R \cdot 0,1 = \frac{47}{2} \cdot 0,1 = 2,35 \text{ m}$$

$$\lambda_0 = 7 \quad \text{eta} \quad C_p = 0,49 \quad \text{izanik}$$

λ : Bere balioa r -ren arabera aldatuko da. Puntan 7 balioa izanik eta errotoarekin lotzen den gunean bere balioa 0 izanik.

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \frac{r}{R}$$

Hau garatuz, ardatzean eragingo duten indarrak lortuko dira. Baina ez denak, errotoarea eta palak ere duten berezko pisua dela eta, beste karga batzuk agertzea eragingo dute. Hauek kalkulatzeko hurrengoa egingo da:

$$F_v = m_{\text{errotoarea}} \cdot g$$

2. Ardatzen diseinua tentsioen arabera

Ardatz geldoak, sekzio betea izango du kalkuluak errazteko. Nekera kalkulatu da eta karga handiak jasateko gai izango da. Kalkulua ASME kodearen adierazpena jarraituz egingo da. Adierazpena hau, Trescaren teorian oinarritzen da:

$$\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} < \sigma_{\text{yp}}$$

Hau zati bi egiten bada tentsio ebakitzailerik maximoa lortzen da:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{\sigma_{\text{eq}}}{2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} < \frac{\sigma_{\text{yp}}}{2} = \tau_{\text{yp}}$$

Hala ere, Treskaren teoria estatikoa da eta gainera ez ditu kontuan hartzen tentsio kontzentrazioak. Hau dela eta, ASME-k momentua eta torsorea koefiziente batez handitzen ditu. Jakinik makurtzailearen eta bihurtzailearen adierazpenak hurrengoak direla:

$$\sigma = \frac{M \cdot r}{I} \quad \text{eta} \quad \tau = \frac{T \cdot r}{J} = \frac{T \cdot r}{2 \cdot I}$$

Hau garatuz, ASME kodearen adierazpena lortzen da:

$$\tau_{\max} = \frac{r}{J} \sqrt{(C_m \cdot M_{\max})^2 + (C_t \cdot T)^2} < \tau_{yp}$$

Ardatzaren diametroa bakantzen badugu, hurrengo adierazpenera heltzen gara:

$$\varnothing_G \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot SK}{\sigma_{yp} \cdot \pi} \cdot \sqrt{(C_m \cdot M_{\max})^2 + (C_t \cdot T)^2}}$$

Kasu hontan, AISI 1050 altzairuzko aleazioaz fabrikatzea erabaki da, bere ezaugarriak hurrengoak izanik:

AISI 1050	BALIOA
Fluentzia Tentsioa (σ_{yp})	580 MPa
Haustura Tentsioa (σ_u)	690 MPa

2.52. Irudia: AISI 1050 aleazioaren propietate mekanikoak

Orain, datu guztiak ezagunak dira SK, C_m eta C_t izan ezik. C_m eta C_t koefizienteen balioak lortzeko hurrengo taulara jo beharko dugu:

	C_m	C_t
EJES FIJOS:		
Carga aplicada gradualmente (constante)	1.0	1.0
Carga aplicada repentinamente	1.5-2.0	1.5-2.0
EJES GIRATORIOS:		
Carga aplicada gradualmente (constante)	1.5	1.0
Carga aplicada repentinamente, sólo pequeños impactos	1.5-2.0	1.0-1.5
Carga aplicada repentinamente, grandes impactos	2.0-3.0	1.5-3.0

2.53. Irudia: C_m eta C_t koefizienteen balioak

Beraz, jasango dituen kargak konstanteak ez direnez: $C_m = 2$ eta $C_t = 1,5$

Azkenik SK-ren balioa lortu behar da. Honen balioa UNE 61400-1 arauaren 7.6 atalean finkatzen da:

Componentes de clase 1: $\gamma_n = 1,0$.

Componentes de clase 2: $\gamma_n = 1,15$.

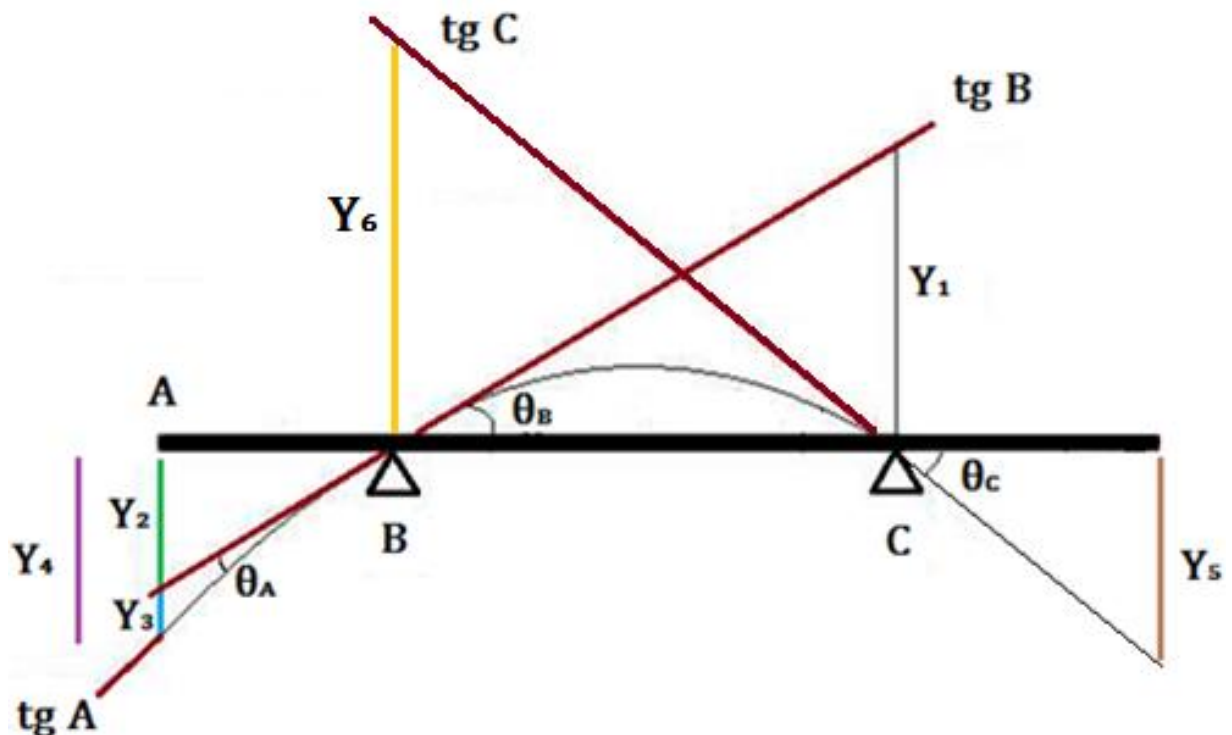
Componentes de clase 3: $\gamma_n = 1,3$.

2.39. Irudia: UNE 61400-1 arauaren arabera aplikatu beharreko SK

Ardatz geldoa bigarren motako osagai bat da. Beraz 1,15 balioa hartuko da segurtasun koefiziente bezala.

3. Ardatz geldoaren diseinua deflexioekiko

Errotorearen pisua eta haizeak sortutako indarrak direla eta, tolestura une handiak jasango ditu ardatzak, eta beraz deformazioak agertuko dira. Hauek kalkulatzeko, Morh-en teorema erabiliko da:



2.54. Irudia: Ardatzan gertuko diren geziak eta biraketak

Lehen pausoa deformatua eta euskarri puntuetan tangenteak irudikatzea izango litzateke. Behin hauek marraztuta, kontuan eduki behar da euskarri puntuak bira daitezkeela deformazioak handiagotuz.

- Geziak ($Y_1, Y_2, Y_3 \dots$) hurrengo formularen laguntzaz kalkulatu dira:

$$Y = \frac{A \cdot x}{E \cdot I}$$

- Biraketak (θ_A, θ_B eta θ_C) kalkulatzeko hurrengo formula erabiliko da:

$$\theta = \frac{A}{E \cdot I}$$

Non:

- A: Momentu makurtzaileen diagraman zarratzen den azalera.
- x: Zarratzen den azaleraren grabitate zentrotik puntura dagoen distantzia.
- E: Young-en modulua.
- I: Inertzia momentu ahula.

4. Ardatz geldoaren diseinua bibrazioekiko

Ardatza biratzean, bere gainean muntatzen diren elementuen masa eszentrikoek indar zentrifugoak sortzen dituzte. Biraketa abiadurak ardatzaren frekuentzia naturalarekin bat egiten badu, indar zentrifugoek bibrazioa modu hori indartzen dute eta ardatza erresonantzian sartzen da. Hau gertatzen denean, tentsioak, maldak, deflexioak eta euskarrietako indarrak asko handitzen dira eta ardatzaren porrota gerta daiteke. Hau dela eta, ardatzak fenomeno hau kontuan izanda dimentsionatzen dira. Abiadura kritikoa ardatzaren biraketa abiadura baino bi edo hiru aldiz handiagoa izan behar da eta hurrengo adierazpenaren laguntzaz egingo da bere kalkulua:

$$W_{\text{kritikoa}} = \sqrt{\frac{g \cdot \sum(w_i \cdot y_i)}{\sum(w_i \cdot y_i^2)}}$$

Kasu hontan, ardatzaren gainean muntatuta dagoen gauza bakarra aerosorgailuaren errotoea izango da eta beraz adierazpena sinplifikatu egingo da.

$$W_{\text{kritikoa}} = \sqrt{\frac{g}{Y}}$$

2.12.2.5. Biderkatzailea

Biderkatzailea engranaies (koroa, eguzkia eta planetak), bitarteko ardatzez, ardatz planetario eta porta-planetak osatzen da. Bestalde, bigarren mailako elementuak ere badaude, hala nola txabetak eta segurtasun eraztun normalizatuak.

1. Transmizio erlazioa

Biderkatzailearen parametro nagusietako bat transmisio edo eraldaketa ratioa (i) da. Hau da, abiadura handiko ardatzaren eta ardatz geldoaren arteko erlazioa. Harremana zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoak izango dira engranajeak eta kostua handiagoa izango da. Transmisio-erlazioa honako adierazpenarekin kalkulatzen da:

$$i_{12} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

Non:

- w_1 : Ardatz geldoaren biraketa abiadura.
- w_2 : Abiadura handiko ardatzaren abiadura.
- Z : Engranaien hagin kopurua.

Kalkulurako hasierako hipotesi bezala, kanpoko eraztuna (koroa) finkoa egongo da eta beraz bere biraketa abiadura nulua izango da:

$$w_3 = 0$$

Eguzki engranaiak planeta engranaiekin duen erlazioa hurrengoa izanik:

$$i_{\text{ETAPA}} = \frac{w_{\text{koroa}} - w_{\text{sarrera1}}}{w_{\text{irteera1}} - w_{\text{sarrera1}}} = -\frac{Z_1}{Z_3}$$

Adierazpen hau, etapa guztietan aplikatuko da baina hagin kopurua ezaguna izan behar da. Horretarako hurrengo formula bete beharko da diseinatzerako orduan:

$$Z_3 = Z_1 + 2 \cdot Z_2$$

Hau kontuan izanik, etapa bakoitzak gutxi gora behera biraketa abiadura bost aldiz handiagotuko du, honen balioa 21,2 rpm-tik 1500 rpm-ra igoteko sorgailuak behar bezala funtzionatu dezan.

2. Moduluaren kalkulua

Engranai zuzenen kalkulua bi modu desberdinetan egin daiteke. Alde batetik, Hertz ekuazioa erabili daiteke, higadura dela eta ager daitzekeen arazoak kalkulatzeko dituen eta kritikoena izango litzatekeena. Beste alde batetik, Lewisen formula erabili daiteke hortzen haustura kalkulatzeko duena. Nahiz eta kritikoena Hertz izan ohi den, proiektu honetan bi kalkulua gauzatuko dira.

a. Hortzaren gainazal hutsegitea (Hertz)

Engranaietan gainazaleko akatsak hortzen arteko kontaktuagatik agertzen dira. Higaturagatik gerta daitezkeen akatsak hurrengoak dira:

- a. Higadura abrasiboa: Lubrikazioan material arraroren batengatik.
- b. Higadura korrosiboa: Gainazalean emandako erreakzio kimiko baten ondorioz.
- c. Ziztada: Akatsa nekera gertatzen denean.
- d. Marraketa: Pieza metalikoen arteko kontaktuagatik.

Hau jakinda, kalkulua egiteko erabiliko den ekuazioa hurrengoa da:

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T_1 \cdot (i \pm 1)}{K_{adm} \cdot \Psi \cdot z_1^2 \cdot i \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}}$$

Non:

m: Modulua (cm).

i: Transmizio erlazioa.

T_1 : Momentu tortsorea (Kg · cm).

K_{adm} : Presio onargarria (Kg/cm²).

Ψ : Faktore gidaria.

α : Engranaaien presio angelua.

z_1 : Hortz kopurua.

FACTOR DE GUIADO Ψ	
Flancos en bruto, poca velocidad y montaje deficiente	5
Calidad y condiciones normales	10
Tallado muy exacto, montaje muy preciso y buen asiento de cojinetes y apoyo rígido de estos	15-20 (casos excepcionales hasta 30)

2.55. Irudia: Faktore gidariaren balore posibleak

Tallatu eta muntai zehatz batentzako faktore gidaria aukeratzea erabaki da hiru etapentzako. Kasu hontan, 20 balioa hartuko da.

Jarraian, Niemann-en formularen bitartez, presio onargarriaren balioa lortuko da:

$$K_{adm} = f \cdot \frac{(HB)^2}{E \cdot W^\alpha}$$

f: Koefiziente honek balio konstantea izango du eta burdinaren kasuan 6800 balioa hartuko du.

HB: Brinell gogortasuna. Bere balioa 450 kg/mm^2 izango da engranaaien material bezala burdin aleazio tenplatu bat aukeratu delako.

Piñón o rucda de		Dureza Brinell DB (kg/mm ²)
Fundición	GG-18	170
	GG-26	220
Acero moldeado	GS o St 42	125
Acero al carbono	St 50	155
	St 60	180
	St 70	210
Acero aleado	Acero al Mn 80-95 kg/mm ²	230
	Acero al Mn 90-105 kg/mm ²	260
	Acero templado	450

2.56. Irudia: Brinell Gogortasunaren balioak

E: Materialaren modulu elastikoa. Bere balioa $2,1 \cdot 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ izanik.

$$\alpha: \frac{1}{3}$$

W: Errodamenduak 10 urteko bizitza erabilgarria izateko diseinatu dira eta berbera egingo da engranaiekin, beraz 10 urteko bizitza erabilgarrian zehar egindako errodadura milioiak.

Lortutako emaitzekin, modulu normalizatu bat aukeratuko da hurrengo taulatik, lortutako balio baino handiago izanik noski:

SERIE DE MÓDULOS NORMALIZADOS							
Módulo	Paso cir.	Módulo	Paso cir.	Módulo	Paso cir.	Módulo	Paso cir.
0,30	0,942	2,50	7,854	8	25,133	27	84,823
0,40	1,257	2,75	8,639	9	28,274	30	94,248
0,50	1,571	3,00	9,425	10	31,416	33	103,673
0,60	1,885	3,25	10,210	11	34,558	36	113,097
0,70	2,199	3,50	10,996	12	37,699	39	122,522
0,80	2,513	3,75	11,781	13	40,841	42	131,947+
0,90	2,827	4,00	12,566	14	43,982	45	141,372
1,00	3,142	4,50	14,137	15	47,124	50	157,080
1,25	3,927	5,00	15,708	16	50,265	55	172,788
1,50	4,712	5,50	17,279	18	56,549	60	188,496
1,75	5,498	6,00	18,850	20	62,832	65	204,204
2,00	6,283	6,50	20,420	22	69,115	70	219,912
2,25	7,069	7,00	21,991	24	75,398	75	235,619

2.57. Irudia: Modulu normalizatuen balioak

Hurrengo pausoa, lortutako etapa bakoitzeko moduluak baliozkoak diren edo ez ikustea izango da Lewisek emango dituen balioekin alderatuz.

b. Hartzaren marruskaduraren hutsegitea (Lewis)

Hartzak apurtzea ekiditzeko egin beharreko engranaiaren diseinua, aurreko atalean ikusitako higadura porrota baino arazo konplexuagoa da. Bestalde, kalkulua ez da hain kritikoa eta normalean, higaduraren atalean kalkulaturako modulua nahikoa da haustura esfortzuari aurre egiteko.

Kasu honetan Lewis formula erabiliko da hortzen modulua hausturaren arabera kalkulatzeko. Kalkulu hau egiteko, faktore gidaria eta Lewis faktorea (Y) erabiliko dira:

Número de dientes	Y	Número de dientes	Y
12	0.245	28	0.353
13	0.261	30	0.359
14	0.277	34	0.371
15	0.290	38	0.384
16	0.296	43	0.397
17	0.303	50	0.409
18	0.309	60	0.422
19	0.314	75	0.435
20	0.322	100	0.447
21	0.328	150	0.460
22	0.331	300	0.472
24	0.337	400	0.480
26	0.346	Cremallera	0.485

2.58. Irudia: Lewis formako faktorearen balio posibleak

Taulan ikusi daitekeen moduan, formako faktorea kalkulatu beharreko engranaiaren hortz kopuruaren arabera da. Modulua kalkulatzeko Lewisen formula hurrengoa da:

$$m \geq 52,32 \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{w \cdot z \cdot \Psi \cdot \sigma_{adm} \cdot Y}}$$

Non:

m: Modulua (cm).

w: Biraketa abiadura.

P: Potentzia (ZP).

Ψ : Faktore gidaria.

FACTOR DE GUIADO Ψ	
Flancos en bruto, poca velocidad y montaje deficiente	5
Calidad y condiciones normales	10
Tallado muy exacto, montaje muy preciso y buen asiento de cojinetes y apoyo rígido de estos	15-20 (casos excepcionales hasta 30)

2.59. Irudia: Faktore gidariaren balore posibleak

Lehen bezala, tallatu eta muntai zehatz batentzako faktore gidaria aukeratzea erabaki da hiru etapentzako. Kasu hontan, 20 balioa hartuko da aurreko atalean bezala.

Y: Lewis formako faktorea.

z_1 : Hortz kopurua.

σ_{adm} : Tentsio onargarria (Kg/cm^2). Lehenago aukeratu den altzairu tenplatzuko aleazioa aukeratu da, Brinell gogortasuna 450 BHN-koa zuena.

MATERIAL	TRATAMIENTO TÉRMICO	DUREZA O RESISTENCIA MÍNIMA	TENSION ADMISIBLE σ_{adm} (Mpa)	
			Recto, Helicoidal y Doble helicoidal	Cónico
Acero	Normalizado	140 BHN	130-172	76
	Temple y revenido	180 BHN	172-227	96
	Temple y revenido	300 BHN	248-323	131
	Temple y revenido	450 BHN	303-406	172
	Carburizado	55 Rc	375-447	189
	Carburizado	60 Rc	413-482	207
	Temple por inducción o a la llama. Patrón de dureza 1*	54 Rc	310-375	
	Patrón de dureza 1*	54 Rc en la superficie	151	93
	AISI 4140 Nitruado	53Rc en la superficie y 300 BHN en el núcleo	254-289	138

2.60. Irudia: Tentsio onargarriaren balioak materialaren arabera

Beraz, tentsio onargarriaren balioa 406 MPa-ekoa dela hartuko da. Unitateak egokituz hurrengo balioa lortuko da, Lewisen formularen balioa sartu ahal izateko:

$$\sigma_{\text{adm}} = 406 \text{ MPa} = 4.138,63 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

3. Biderkatzailearen dimentsio orokorrak

Hiru etapetako engranaien parametroak kalkulatzeko honako espresioak erabiliko dira:

1. Diametro primitiboak: ($D = m_r \cdot z$)
2. Kanpo diametroak: ($D = m_r \cdot z + m_r \cdot 2$)
3. Barne diametroak: ($D = m_r \cdot z - 1,25 \cdot m_r \cdot 2$)
4. Engranaien zabalera hurrengoa izanik: ($b = \Psi \cdot m_r$)

2.12.2.5. Balazta

Balaztaren kalkulua Svendborg enpresaren katalogoko adierazpenak erabiliz egin da. Adierazpena honako hau da:

$$M_B = a \cdot F_B \cdot \frac{(D_0 - 0,13)}{2} \text{ (N} \cdot \text{m)} \rightarrow F_B = \frac{2 \cdot M_B}{a \cdot (D_0 - 0,13)}$$

M_B : Abiadura handiko ardatzaren momento tortsorea

a : Pinza kantitatea diskoan

D_0 : Diskoaren diametroa (fabrikatzailearen arabera)

Katalogora joz, baldintzak betetzen dituen modelo bat aukeratuko da:

CALIPER TYPE	CLAMPING FORCE ¹⁾ [N]		BRAKING FORCE ²⁾ [N]	LOSS OF FORCE PER 1MM [%]	OPERATING PRESSURE ³⁾ MPa	BALANCING PRESSURE ¹⁾ MIN MPa	PAD SURFACE PRESSURE ⁴⁾ [N/mm ²]
	MIN	MAX					
BSFI 3020	20,000	23,000	16,000	5.0	4.0	2.28	0.39 - 0.64
BSFI 3025	24,800	24,800	19,840	4.0	4.5	2.82	0.46 - 0.76
BSFI 3030	30,000	33,500	24,000	5.0	5.0	3.42	0.56 - 0.93
BSFI 3040	40,000	44,000	32,000	4.0	6.5	4.55	0.74 - 1.22
BSFI 3046	46,000	50,000	36,800	4.0	7.5	5.23	0.84 - 1.39
BSFI 3050	50,000	55,000	40,000	6.0	8.0	5.69	0.92 - 1.53
BSFI 3056	56,000	60,000	44,800	6.0	9.0	6.37	1.01 - 1.67
BSFI 3060	60,000	66,000	48,000	5.0	9.5	6.83	1.11 - 1.83
BSFI 3070	70,000	77,000	56,000	4.0	11.5	7.96	1.29 - 2.14
BSFI 3080	80,000	88,000	64,000	7.0	13.0	9.10	1.48 - 2.44
BSFI 3085	85,000	93,000	68,000	7.0	14.0	9.67	1.56 - 2.58
BSFI 3090	90,000	98,500	72,000	13.0	14.5	10.24	1.65 - 2.74
BSFI 3100	100,000	109,000	80,000	11.0	16.0	11.37	1.83 - 3.03
BSFI 3110	110,000	119,000	88,000	10.0	17.5	12.51	2.00 - 3.31
BSFI 3120	120,000	130,000	96,000	9.0	19.0	13.65	2.18 - 3.61

2.61. Irudia: Svendvorg fabrikatzailearen katalogoa

