

INGENIARITZA MEKANIKOKO GRADUA
GRADU AMAIERAKO LANA

***IBILGAILU BATEN TRANSMISIOAREN
KALKULU ETA DISEINUA***

3. DOKUMENTUA - KALKULUAK

Ikaslea: Garramiola Saizar, Jon

Zuzendaria: Arsuaga Berrueta, Mikel

Ikasturtea: 2018-2019

Data: Bilbon, 2019ko Ekainaren 27an

3. DOKUMENTUA: KALKULUAK

3.1. HASIERAKO DATUAK	3
3.2. INDAR ERRESISTENTEAK	4
3.2.1. Errodadurak eragindako indarra (F_e)	4
3.2.2. Aldapek eragindako indarra (F_a)	4
3.2.3. Ibilgailuaren inertzia dela eta sortutako indarra (F_i)	5
3.2.4. Haizeak eragindako indarra (F_h)	5
3.3. ENBRAGEA	6
3.3.1. Enbragearen dimentsioak	7
3.3.2. Enbragearen aukeraketa	8
3.3.3. Enbragearen ildoen kalkulua	9
3.4. ABIADURA KAXA	10
3.4.1. Transmisio erlazioen kalkulua	10
3.4.1.1. Lehen abiaduraren konprobaketa	13
3.4.1.2. Seigarren abiaduraren konprobaketa	14
3.4.2. Engranajeen kalkulua	15
3.4.2.1. Engranajeen hortz kopurua	15
3.4.2.2. Engranajeen modulua	19
3.4.2.3. Ardatzen arteko distantzia	24
3.4.2.4. Atzerako martxaz arduratzen diren engranajeen kalkulua	24
3.4.2.5. Engranajeen dimentsionaketa	26
3.4.2.6. Atzerako martxaz arduratzen diren engranajeen kokapena	29
3.4.2.7. Indarrak hortzetan	30
3.4.2.8. Pinoien konprobaketa erresistentzia kontuan izanda	33

3.4.3. Ardatzen kalkulua	39
3.4.3.1. Ardatz primarioa	40
3.4.3.2. Tarteko ardatza.....	42
3.4.3.3. Ardatz sekundarioa	53
3.4.3.4. Atzerako martxaren ardatza	65
3.4.4. Errodamenduen kalkulua.....	67
3.4.4.1. Tarteko ardatza.....	67
3.4.4.2. Ardatz sekundarioa	75
3.4.4.3. Ardatz primarioa	81
3.4.4.4. Ardatz sekundarioko gurpilentzako errodamenduak.....	83
3.4.5. Txabetak.....	89
3.4.6. Sinkronizatzaileen dimentsionamendua.....	95
3.4.6.1. Ildoen luzeraren neurketa.....	97
3.4.6.2. Sinkronizatzaileen marruskadura ahalmena.....	100
3.5. DIFERENTZIALA OSATZEN DUTEN ELEMENTUEN	
DIMENSIONAMENDUA	102
3.5.1. Sateliteen dimentsioak.....	103
3.5.2. Planetarioen dimentsioak	104
3.5.3. Pinoiaren dimentsioak.....	104
3.5.4. Koroaren dimentsioak.....	105
3.5.5. Pinoiaren ildoen luzera	105

3.1. HASIERAKO DATUAK

Kalkuluekin hasteko beharrezkoa da hasierako datuak eta parametroak ezagutzea. Informazio hau ibilgailuaren fitxa teknikitik lortu da.

Ibilgailuaren datuak:

<i>Peugeot 208 GTi</i>	
Potentzia maximoa (ZP) / kW / rpm	200/147/5800
Momentu bihurtzaile MAX (Nm) / rpm	275/1700
Motorraren kokapena	Aurrealdean, zeharka
Trakzioa	Aurreko trakzioa
Pisua (kg)	1160
0-100 km/h azelerazioa (s)	6,8
Zilindro kopurua / zilindrada (cm ³)	4 linean/1598
Abiadura kaxa	Eskuzkoa, 6 abiadura
Batazbesteko kontsumoa	5,4 l/100 km

Transmisio erlazioak:

1. abiadura	3,545 : 1
2. abiadura	1,920 : 1
3. abiadura	1,323 : 1
4. abiadura	1,026 : 1
5. abiadura	0,822 : 1
6. abiadura	0,681 : 1
Atzerako martxa	3,367 : 1

3.2. INDAR ERRESISTENTEAK

Lehenbiziko atal honetan ibilgailuaren mugimenduaren kontra egiten duten indar erresistenteak aztertuko eta kalkulatu dira. Horretarako, Francisco Muñoz Graciaren liburua erabiliko da.

Hauek dira kotxearen mugimenduari kontra egiten dioten indarrak:

- Errodadurak eragindako indarra
- Aldapek eragindako indarra
- Ibilgailuaren inertzia dela eta sortutako indarra
- Haizeak eragindako indarra

3.2.1. Errodadurak eragindako indarra (F_e)

Indar hau gurpilen eta errepidearen arteko kontaktua/marruskadura dela eta sortutakoa da. Indar honen kalkulua burutzeko honako ekuazioa erabiliko da:

$$F_e = (P_i + P_k) \cdot \mu_m$$

Non,

P_i : Kotxearen pisua

P_k : Baimendutako karga maximoa

μ_m : Marruskadura koefizientea = 0.03 hartuko da (normalean 0,02 eta 0,03 tartean ibiltzen da)

Hortaz:

$$F_e = (1160 + 490) \cdot 0,03 = 49,5 \text{ kg}$$

3.2.2. Aldapek eragindako indarra (F_a)

Indar hau ibilgailua aldapa bat igotzen ari denean agertzen da. Bezeroak definitutako aldapa maximoa erabiliko da kalkuluak egiteko: % 45. Honako ekuazioa erabiliko da:

$$F_a = (P_i + P_k) \cdot a_{max}$$

Non:

a_{max} kotxeak gainditu beharreko aldapa maximoa den (% 40)

Beraz:

$$F_a = (1160+490) \cdot 0,3 = 495 \text{ kg}$$

3.2.3. Ibilgailuaren inertzia dela eta sortutako indarra (F_i)

Indar hau kotxeak azeleratzen edo dezeleratzen duen bakoitzean agertzen da. Indar honen kalkulurako kotxeak 0 km/h-tik 100 km/h-ra igarotzean agertzen den inertzia izango da kontuan. Peugeot 208 GTi baten kasuan 6,8 segundo beharko dira abiadura hori lortzeko. Honako ekuazioak erabiliko dira:

$$F_i = m_i \cdot a$$

$$v = v_o + a \cdot t$$

Hortaz:

$$v_o = 0 \rightarrow a = \frac{v}{t}$$

$$v = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} * \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 27,78 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a = \frac{\frac{27,78 \text{ m}}{\text{s}}}{6,8 \text{ s}} = 4,085 \text{ m/s}^2$$

$$F_i = m_i * a = 1160 \text{ kg} * 4,085 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4738,6 \text{ N} * \frac{1 \text{ kg}}{9,81 \text{ N}} = 483,04 \text{ kg}$$

3.2.4. Haizeak eragindako indarra (F_h)

Erresistentzia aerodinamikoaren indarra haizearen presio dinamikoarekiko eta kotxearen aurrealdeko azalerarekiko proportzionala da. Horretaz gain, indar hau kalkulatzeko orduan erresistentzia aerodinamikoaren koefizientea ere kontuan izan behar da (C_x).

Indar hau ibilgailua mugimenduan dagoenean agertzen da, eta bere kalkulua egiteko honako ekuazioa erabiliko da:

$$F_h = \frac{v_{max}^2}{2 * g} * \rho_h * a_i$$

Non:

v_{max} = Ibilgailuaren abiadura maximoa

ρ_h = Haizearen dentsitatea

a_i = Ibilgailuaren aurrealdeko azalera eraginkorra

$$C_x = \text{Kofiziente aerodinamikoa} = 0,34$$

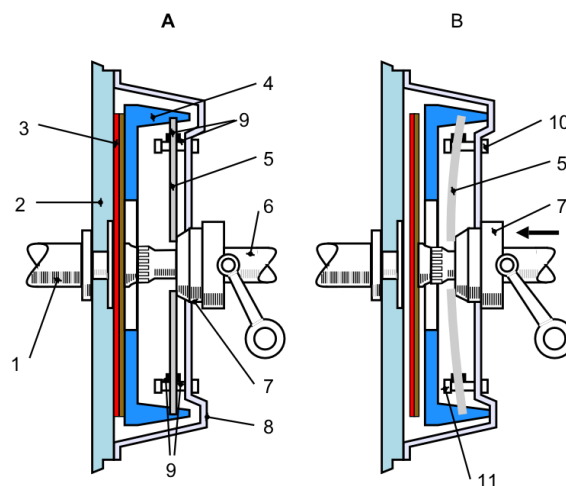
C_x , esan bezala, kofiziente aerodinamikoa da. Fluido batetan dagoen gorputz batek bere forma dela eta mugimenduarekiko aurkezten duen zailtasuna da. Fabrikatzaileak esaten duenari jarraituz, kotxe honen kofiziente aerodinamikoa 0,34 da, eta bere azalera eraginkorra 2,12 m² (zabalera: 1739 mm; altuera: 1460 mm). Haizearen dentsitate bezala 1,20 kg/m³ hartuko da eta kotxearen abiadura maximoa, berriz, 230 km/h-koa izango da. Guztia horrela:

$$v_{max} = 230 \frac{km}{h} * 1000 \frac{m}{1 km} * 1 \frac{h}{3600 s} = 63,89 m/s$$

$$F_h = \frac{63,89^2 \frac{m}{s} * 1,2 \frac{kg}{m^3} * 2,12 m^2 * 0,34}{2 * 9,81 m/s^2} = 179,95 kg$$

3.3. ENBRAGEA

Enbragea motorrak sortutako momentu bihurtzailea transmititzeko erabiltzen den mekanismoa da. Bi ardatzen arteko lotura bezala jokutzen du, eta martxan dagoenean ardatz bien momentu bihurtzaileak eta abiadura angeluarrak berdintzen ditu, ardatz bien potentzia berdinduz. Ardatzak era leun eta progresiboan elkartzeko erabiltzen da orokorrean, ardatzek era uniforme biratzen amaitzen dutelarik. Era honetan, motorrak sortutako potentzia abiadura kaxara transmititzen da. Aipatu behar da lotura hau behin behinekoa dela, hau da, ez dela finkoa.



Ardatzak elkartu edo banatzeko aukera izatea oso interesgarria da hainbat kasutan:

- Motorra karga gabe martxan jartzeko
- Martxa aldaketa egiteko
- Ardatza momentu eragile gabe balaztatzeko

Proiektu honetan diseinatuko den enbragea frikziozkoa izango da.

3.3.1. Enbragearen dimentsioak

Francisco Muñoz Graciak Cálculo teórico-práctico de los elementos y grupos del vehículo industrial y automóvil liburuan adierazten duen bezala beharrezkoa da enbrageak transmititu dezakeen momentu bihurtzailea (M_e) motorrak garatu dezakeen momentu bihurtzaile maximoa (M_m) baino handiagoa izatea. Izan ere, enbrageak lan egiten duen heinean diskoen arteko marruskadura koefizientearen balioa murriztuz joango da, beronen ahalmena txikituz. Gainera, enbragearen malgukiak ere deformazioak jasango dituzte mekanismoan emango diren tenperatura altuak medio, eta honek atal hauek egiten duten presioa jaitsi dezake, enbragearen lan egiteko gaitasuna murriztuz. Horregatik, enbrageak garatu beharreko momentu hori kalkulatzeko 1,3 eta 1,5 tartean dagoen segurtasun koefiziente bat erabiltzen da. Kasu honetan era kontserbakorrean jokatu da eta 1,5 hartuko da. Beraz:

$$M_e = 1,5 * 275 \text{ N.m} = 4204,89 \text{ kg.cm}$$

Liburu horretan Francisco Muñoz Graciak esaten duenez, erabilera leun batetarako presioa 2,4 kg/cm² da eta marruskadura koefizientearen balioa 0,4. Hau jakinda, enbragearen diskoen kanpoko erradioa kalkulatu daiteke:

$$R_k = \sqrt[3]{\frac{M_e}{2,75 * P_{max} * \mu}} = \sqrt[3]{\frac{4204,89 \text{ kg.cm}}{2,75 * 2,4 \text{ kg/cm}^2 * 0,4}} = 11,68 \text{ cm}$$

Praktikan diskoen kanpoko erradioaren eta barne erradioaren artean honako erlazioa hau erabiltzen da:

$$R_b = 0,7 * R_k$$

Beraz:

$$R_b = 0,7 * R_k = 0,7 * 11,68 = 8,176 \text{ cm}$$

Behin hau eginda, diskoak jasan ahalko duen presio, indar axial eta momentu bihurtzaile maximoa kalkulatu da higadura uniformeko hipotesia kontuan izanda. Hipotesi hau erabiltzen da berau kontserbakorra delako eta presio konstanteko hipotesia soilik enbrage berrietara mugatuta dagoelako.

Presioaren kalkulua:

$$P = P_{max} * \frac{R_b}{R_k} = 2,4 * \frac{8,176}{11,68} = 1,68 \text{ kg/cm}^2$$

Indar axialaren kalkulua:

$$F_a = \int_{r_b}^{r_k} P * dA = \int_{r_b}^{r_k} d * F_a = \int_{r_b}^{r_k} \left(\frac{P_{max} * r_b}{r} \right) * 2\pi * r * dr = 2\pi * P_{max} * r_b * (r_k - r_b)$$

$$F_a = 2\pi * 2,4 * 8,176 * (11,68 - 8,176) = 432,01 \text{ kg}$$

Enbrageak transmititu dezakeen momentu bihurtzaile maximoa:

$$T_{roz} = \int_{r_b}^{r_k} r * dF_n = \int_{r_b}^{r_k} r * \mu * P * dA = \int_{r_b}^{r_k} r * \mu * P_{max} * \frac{r_b}{r} * 2\pi * dr$$

$$T_{roz} = \pi * \mu * P_{max} * r_b * (r_k^2 - r_{eb}^2) = \frac{n * \mu * F_a * (r_k + r_b)}{2}$$

Non:

n = Gainazal kopurua

μ = Marruskadura koefizientea

F_a = Indar axiala

$$T_{roz} = \frac{2 * 0,4 * 432,01 * (11,68 + 8,176)}{2} = 3431,19 \text{ kg.cm} = 336,60 \text{ N.m}$$

































$$T_{motorra} = 275 \text{ N.m} < T_{roz} = 336,60 \text{ N.m}$$

Peugeot 208 GTi-aren motorrak ematen duen momentu bihurtzaile maximoa 275 N.m denez eta enbrageak transmititu dezakeena 336,60 N.m denez diseinua egokia dela esan daiteke.

3.3.2. Enbragearen aukeraketa

SACHS fabrikatzailearen katalogoa hartuta:

PEUGEOT

RCZ		03.10 -					
1.6 16V, 115 kW	03.10-	5FV(EP6CDT)	 3000 990 423 			235	26
			 2294 001 583 	enthält Schwungradbefestigungsschrauben / includes bolt for flywheel mounting	(183)	235	
			 6284 605 059 	->Orga 12509 ->02.2011			
			 6284 605 057 	Orga 12510-> 02.2011->			
1.6 16V, 147 kW	06.10-	EP6CDTX	 3000 990 423 			235	26
			 2294 001 583 	enthält Schwungradbefestigungsschrauben / includes bolt for flywheel mounting	(183)	235	
			 6284 605 059 	->Orga 12509 ->02.2011			
			 6284 605 057 	Orga 12510-> 02.2011->			
1.6 THP 270	06.13-	5FG(EP6CDTR)	 2294 002 183 	enthält Schwungradbefestigungsschrauben / includes bolt for flywheel mounting	(183)	235	
			 3182 600 199 	Füllmedium: Bremsflüssigkeit / Fill Medium: Brake Fluid	(62)		
			 6284 605 057 	Immer erneuern / Renew everytime	(73)		
			 3000 950 914 			240	21
2.0 HDi	03.10-	RHH (DW10CTED4)	 2294 002 028 	enthält Schwungradbefestigungsschrauben / includes bolt for flywheel mounting	(183)	240	
			 6283 600 562 				
			 6284 010 601 	->Orga 12565 ->04.2011			
			 6284 605 014 	Orga 12566-> 04.2011->			

Aukeratutako enbragearen diametroa (235 mm) zuzena da, kalkuluetan beharrezkoa den enbragearen erradioa 116,8 mm dela kalkulatu baita. Hortaz, beharrezkoa den diametro minimoa 233,5 mm da.

3.3.3. Enbragearen ildoen kalkulua

Enbragearen diskoak abiadura kaxaren ardatz primarioarekin lotzeko ildoak erabiltzen dira. Ildo hauen bidez lotura oso sendoa lortu behar da, bertatik momentu bihurtzaile handia transmitituko baita. DIN 5480 araua jarraituz, ildoen luzera honako formula honen bidez lortzen da:

$$L_t = K * \frac{F_u}{h * P * z}$$

Non:

Z = Hagin kopurua

L_t = Ildoen luzera

F_u = Ardatzean dagoen indar tangenziala

h = Haginen altuera

P = Presioa artekan = 100 N/mm² hartuko da

K = Sostengu faktorea (1,35 Decker-ek “*Elementos de máquinas*”-en esaten duenez)

35 mm-ko diametroa duen ardatz batetik abiatuta ($R_{\text{prim}} = 17,5$ mm) eta modulu bezala 2 hartuta indar tangenziala kalkulatu da:

$$F_u = \frac{T}{R_{prim}} = \frac{275 \text{ N/m}}{0,0175 \text{ m}} = 15714,28 \text{ N}$$

Datu horiekin (ardatzaren diametroa eta modulua) DIN 5480 arauaren tauletara joanda:

d_B mm	Number of teeth z for module m													
	0,5	0,6	0,75	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	4	5	6
35	68	57	45	42	34	26	22	18	16	12	10	7		

$Z = 16$ dela ikus daiteke. Honekin:

$$L_t = K * \frac{F_u}{h * P * z} = 1,35 * \frac{15714,28 \text{ N}}{2 \text{ mm} * 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 16} = 6,63 \approx 7 \text{ mm}$$

3.4. ABIADURA KAXA

Hasieran aipatu den bezala abiadura kaxa motorrak ematen duen momentu bihurtzailea eraldatzeaz arduratzen da. Mekanismo honek gehienetan motorrak ematen duen momentu bihurtzailea handitzen du: ardatzek indar gehiago izango dute baina ordainetan geldoago biratuko dute. Abiadura kaxarik gabe ia ezinezkoa izango litzateke kalkuluetako lehen atalean kalkulatuak indar erresistenteak gainditzea.

Abiadura kaxaren bidez gidariak nahi duen martxa aukeratu dezake agertzen diren egoera ezberdinei aurre eginez. Transmisio erlazioa oso txikia bada ibilgailuak aldapa handiak igo ahalko ditu, baina bere abiadura txikia izango da. Transmisio erlazioa handia bada, aldiz, kotxeak abiadura handia izango du baina ordainetan ez da gai izango aldapei aurre egiteko.

Horixe da abiadura kaxaren funtzioa: beharren arabera martxa bat ala beste bat aukeratzeko gaitasuna ematea.

3.4.1. Transmisio erlazioen kalkulua

Diferentzialaren bidez zuzen gune batetan kotxearen gurpil guztiek abiadura berdinez biratzea lortzen da. Eta ez hori bakarrik. Kotxea kurba batetan sartzen denean gurpilen biraketa egokitzea ere mekanismo honen funtzioetako bat da.

Beharrezkoa da diferentzialak duen erlazioa ezagutzea abiaduren erlazioak ezagutzeko. Horretarako, Francisco Muñoz Graciak bere liburuan adierazten dituen honako ekuazioak erabiliko dira:

$$r_d = \frac{W_{motorra}}{r_6 * n_g}$$

$$w_g = \frac{v_{max} * 60}{\pi * D_g}$$

Non:

r_d = Diferentzialaren erlazioa

D_g = Gurpilaren diametroa

w_g = Gurpilen biraketa abiadura

v_{max} = Kotxearen abiadura maximoa

r_6 = 6. abiaduraren erlazioa

n_g = Gurpilen abiadura angeluarra

$w_{motorra}$ = Motorraren biraketa abiadura

Gurpilen abiadura angeluarra kalkulatzeko beharrezkoak diren datuak kotxearen fitxa teknikitaterako dira. Peugeot 208 GTi-aren gurpilak: 205/45 R17.

Gurpilaren Zabalera: 205 mm

Gurpilaren Perfila: % 45

Haguna (llanta): 17 hazbete

Honekin gurpilaren diametroa kalkulatu daiteke:

$$D_g = 17 \text{ hazbete} * \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ hazbete}} + 2 * 0,45 * 205 = 616,3 \text{ mm}$$

Halere ez da ahaztu behar hau diametro ideala dela eta kotxearen pisuak eragina duela gurpilaren diametro errealean. Horregatik 0,95-ekin bidertuko dugu:

$$D_g = 0,95 * 616,3 = 585,48 \text{ mm} = 0,585 \text{ m}$$

$$v_{max} = 230 \frac{\text{km}}{\text{h}} * \frac{10^3}{1\text{km}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 63,89 \text{ m/s}$$

Beraz:

$$w_g = \frac{v_{max} * 60}{\pi * D_g} = \frac{63,89 * 60}{\pi * 0,585} = 2085,83 \text{ bira/min}$$

Ibilgailuaren abiadura maximoa denean (63,89 m/s), beraz, gurpilek 2085,83 bira/minutuko abiadura izango dute. Gainera, jakinikoa da hau 6. abiaduran izango dela (transmisio erlazioa 6. abiaduran 0,681) eta momentu horretan motorrak 5800 bira/minutuko abiadura izango duela. Hori horrela:

$$r_d = \frac{w_{motorra}}{r_6 * n_g} = \frac{5800}{0,681 * 2085,83} = 4,083$$

Balio hau zentzuzkoa da, normalean 4 inguruan ibiltzen baita (kotxearen abiadura maximoaren eta martxa kantitatearen arabera).

Datu hauekin abiadura bakoitzean gurpilek duten abiadura angeluarra eta kotxearen abiadura kalkulatu daitezke. Lehenbizi gurpilen abiadura angeluarra kalkulatu da, behin hau izanda ibilgailuaren abiadura lortzeko.

$$w_g = w_{motorra} * \frac{1}{r_d * i_{ak}}$$

$$v_k = w_g * R_g$$

Non,

w_g = Gurpilaren abiadura angeluarra

$w_{motorra}$ = Motorraren abiadura angeluarra

r_d = Diferentzialaren transmisio erlazioa

i_{ak} = Abiadura bakoitzaren transmisio erlazioa

R_g = Gurpilaren erradioa

1. abiadura →

$$w_1 = 5800 * \frac{1}{3,545 * 4,083} = 400,71 \frac{\text{bira}}{\text{minutu}}$$

$$v_1 = \frac{400,71 * \frac{2\pi}{60} * 0,2925}{\frac{1000}{3600}} = 44,19 \text{ km/h}$$

2. abiadura →

$$w_2 = 5800 * \frac{1}{1,920 * 4,083} = 739,85 \frac{\text{bira}}{\text{minutu}}$$

$$v_2 = \frac{739,85 * \frac{2\pi}{60} * 0,2925}{\frac{1000}{3600}} = 81,58 \text{ km/h}$$

3. abiadura →

$$w_3 = 5800 * \frac{1}{1,323 * 4,083} = 1073,71 \frac{\text{bira}}{\text{minutu}}$$

$$v_3 = \frac{1073,71 * \frac{2\pi}{60} * 0,2925}{\frac{1000}{3600}} = 118,40 \text{ km/h}$$

4. abiadura →

$$w_4 = 5800 * \frac{1}{1,026 * 4,083} = 1384,53 \frac{\text{bira}}{\text{minutu}}$$

$$v_4 = \frac{1384,53 * \frac{2\pi}{60} * 0,2925}{\frac{1000}{3600}} = 152,67 \text{ km/h}$$

5. abiadura →

$$w_5 = 5800 * \frac{1}{0,822 * 4,083} = 1728,13 \frac{\text{bira}}{\text{minutu}}$$

$$v_5 = \frac{1728,13 * \frac{2\pi}{60} * 0,2925}{\frac{1000}{3600}} = 190,56 \text{ km/h}$$

6. abiadura →

$$w_6 = 5800 * \frac{1}{0,681 * 4,083} = 2085,94 \frac{\text{bira}}{\text{minutu}}$$

$$v_6 = \frac{2085,94 * \frac{2\pi}{60} * 0,2925}{\frac{1000}{3600}} = 230,02 \text{ km/h}$$

Ikus daitekeenez, 6. abiadurarentzako kalkulatu den abiadura maximoa bat dator kotxearen abiadura maximoarekin. Hortaz, kalkuluak ontzat jo daitezke.

Atzerako martxa →

$$w_{am} = 5800 * \frac{1}{3,367 * 4,083} = 421,90 \frac{\text{bira}}{\text{minutu}}$$

$$v_6 = \frac{421,90 * \frac{2\pi}{60} * 0,2925}{\frac{1000}{3600}} = 46,52 \text{ km/h}$$

3.4.1.1. Lehen abiaduraren konprobaketa

Lehen abiaduraren erlazioa kotxeak jasan ditzakeen indar erresistenteak garaitzeko nahikoa dela konprobatuko da jarraian. Hori burutzeko, batetik indar erresistenteek gurpiletan sortuko duten momentu bihurtzailea kalkulatu da. Bestetik, momentu bihurtzaile hori garaitzeko beharrezkoa den erlazio minimoa kalkulatu da. Beraz:

$$F_R = F_e + F_a + F_i$$

$$T_R = \frac{F_R * D_g}{2}$$

Non:

T_R = Gurpil eragileak jasaten duen momentu erresistentea

F_R = Gurpil eragileak jasaten duen erresistentzia indar totala

Beraz:

$$F_R = 49,5 + 495 + 483,04 = 1027,54 \text{ kgf}$$

$$T_R = \frac{F_R * D_g}{2} = \frac{1027,54 * 0,585}{2} = 280 \text{ kgf} * m * \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} = 2746,84 \text{ N.m}$$

Esan bezala motorrean sortutako momentu bihurtzailea gurpilek euren mugimenduaren kontra aurkitzen duten momentu bihurtzailea baino handiagoa izan behar da. Aipatu beharra dago, baita, motorrak sortutako potentziaren zati bat ez dela gurpiletara iritsiko, transmisio prozesuan zehar galduko baita (bero moduan, bibrazio moduan, etab.). Motorrak sortuko duen potentziaren %95a gurpiletara iritsiko dela suposatuko da. Hortaz, $\mu = 0,95$ izango da.

$$P_g = P_m * \mu$$

$$T_{gurpila} * w_{gurpila} = T_{motorra} * w_{motorra} * \mu$$

$$r_d * i_{ak} = \frac{T_{motorra}}{T_{gurpila}} * \mu$$

Beraz,

$$T_{gurpila} = \frac{T_{motorra} * \mu}{r_d * i_{ak}} = \frac{275 * 0,95}{\frac{1}{4,083} * \frac{1}{3,545}} = 3781,39 \text{ N.m}$$

Konprobaketa burutuz:

$$T_{gurpila} = 3781,39 \text{ N.m} > T_R = 2746,84 \text{ N.m}$$

Hau horrela, gurpilek jasotzen duten momentu bihurtzailea gai da jasaten duten momentu bihurtzaile erresistentea gainditzeko.

3.4.1.2. Seigarren abiaduraren konprobaketa

Lehenbiziko abiaduraz egin den bezala, seigarren abiadurarekin ere prozedura bera erabiliko da konprobaketa egiteko. Kasu honetan haizearen indarra kontuan izango da, ez ordea aldapen eragina, seigarren abiadura ez baita aldapak daudenean erabiltzen, eta ezta inertziaren eragina ere, abiadura honetan kotxean ematen diren azelerazioak ez baitira kontuan hartzekoak.

$$F_R = F_e + F_h$$

$$F_R = 49,5 + 179,95 = 229,45 \text{ kgf}$$

$$T_R = \frac{F_R * D_g}{2} = \frac{229,45 * 0,585}{2} = 67,11 \text{ kgf} \cdot \text{m} \cdot \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} = 658,39 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Gurpilak seigarren abiaduran jasoko duen momentu bihurtzailea:

$$T_{gurpila} = \frac{T_{motorra} * \mu}{r_d * i_{ak}} = \frac{275 * 0,95}{\frac{1}{4,083} * \frac{1}{0,681}} = 726,41 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Konprobaketa burutuz:

$$T_{gurpila} = 726,41 \text{ N} \cdot \text{m} > T_R = 658,39 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Konprobaketa hauekin gurpilek jasotzen duten momentu bihurtzailea euren mugimenduari kontra egiten dion momentu bihurtzailea baino handiagoa dela ondorioztatu da.

3.4.2. Engranajeen kalkulua

Atal honetan engranajeen dimentsionamendua burutuko da: hortz kopurua, modulua, diametroa, angeluak,... Jakinikoa denez, engranajeek motorrak sortutako momentu bihurtzailea transmititzen dute eta abiadura bakoitzean beharrezkoak diren erlazioak definitzen dituzte.

3.4.2.1. Engranajeen hortz kopurua

Abiadura bakoitzaren erlazioa kalkulatu ostean erlazio horiek betetzeko gurpilek izan behar duten hortz kopurua zehaztuko da. Ahal den neurrian gurpilen diametroa ahalik eta txikiena izatea komeni da, hau handia izateak kostua handituko bailuke eta bolumena/pisua handituko bailituzke. UNE 18016 araua jarraituko da.

Engranajeen arteko kontaktuan arazoak ekiditeko eta hauen hortzen higadura saihesteko ardatzen arteko distantzia ahalik eta zehatzena izatea komeni da. Horregatik honako baldintza hauek bete behar dira:

- Elkarren arteko kontaktua izango duten engranajeek modulu bera izango dute.
- Ardatzen arteko distantzia berdina izan behar da gurpil bikote bakoitzarentzat.

Engranajeak zilindrikoak eta hortz helikoidalduak izango dira, hortz zuzendunek baino higadura eta bibrazio gutxiago eragiten baitute. Gainera, isilagoak dira. Helizearen angelua (β) 20° -tako dela kontsideratuko da. Hortaz, interferentziak ekiditeko honako hau bete beharko da:

$$d = \frac{m * (Z + Z')}{2 * \cos \beta}$$

Non:

d = Kontaktuan dauden gurpilen zentroen arteko distantzia

Z = Pinoiaren hortz kopurua

Z' = Koroaren hortz kopurua

m = Modulua

β = Helizearen angelua

Engranaje bikoteen hortzen batuketa konstante mantenduko da:

$$Z + Z' = \frac{2 * d * \cos \beta}{m} = kte$$

Engranajeen hortz kopuruaren kalkuluarekin hasteko honako ekuazio hau jarraituko da interferentziak saihesteko:

$$Z_n = \frac{Z}{\cos \beta_a^3} \geq 14$$

Non:

Z_n = Hortz kopuru birtuala = 14

Z = Hortz kopuru erreala

β = Helizearen angelua = 20°

Hortaz,

$$Z = Z_n * \cos \beta^3$$

$$Z = 11,61 \approx 12 \text{ hertz}$$

Hartze konstantea \rightarrow

Transmisio erlazioa 1 : 1 izango da eta egiteko honetaz arduratuko diren bi gurpilek 27 hertz izango dituzte.

$$Z_{hk} = 27 \text{ hertz}$$

$$Z'_{hk} = 27 \text{ hertz}$$

1. abiadura \rightarrow

Kalkulatu berri den balioa aintzat hartuta, balio bera emango zaio lehenbiziko martxako pinoiari: $Z_p = 12$ hertz. Behin hau eginda, transmisioa erlazioa erabiliko da koroaren hertz kopurua definitzeko. Ez da ahaztu behar hortzen arteko erlazioa transmisio erlazioa izango dela.

$$i = \frac{Z'}{Z}$$

Esan bezala, lehenbiziko abiadurarentzako hertz kopurua (pinoiarena) 12 izango da. Transmisio erlazioa, berriz, 3,545 izango da. Hori horrela:

$$Z' = 12 * 3,545 = 42,54 \approx 42 \text{ hertz}$$

$$Z + Z' = 12 + 42 = 54 \text{ hertz}$$

Lehenbiziko abiaduran, hortaz, koroaren hertz kopurua 42 hertz izango da. Pinoiaren eta koroaren hortzen batura, bestalde, 54 izango da. Balio hau konstante mantenduko da engranaje bikote guztietan. Gainontzeko abiadurez arduratuko diren gurpilen hertz kopurua kalkulatzeko prozedura bera erabiliko da.

2. abiadura \rightarrow

Transmisio erlazioa jakinda (1,920 : 1) eta pinoiaren eta koroaren hortzen batura 54 hertz izan behar dela jakinda:

$$\begin{cases} i_2 = \frac{Z'_2}{Z_2} = 1,920 \\ Z_2 + Z'_2 = 54 \end{cases}$$

Sistema ebatzita:

$$Z_2 = 18 \text{ hertz}$$

$$Z'_2 = 36 \text{ hertz}$$

3. abiadura \rightarrow

Transmisio erlazioa jakinda (1,323 : 1) eta pinoiaren eta koroaren hortzen batura 54 hortz izan behar dela jakinda:

$$\begin{cases} i_3 = \frac{Z'_3}{Z_3} = 1,323 \\ Z_3 + Z'_3 = 54 \end{cases}$$

Sistema ebatzita:

$$Z_3 = 23 \text{ hortz}$$

$$Z'_3 = 31 \text{ hortz}$$

4. abiadura \rightarrow

Transmisio erlazioa jakinda (1,026 : 1) eta pinoiaren eta koroaren hortzen batura 54 hortz izan behar dela jakinda:

$$\begin{cases} i_4 = \frac{Z'_4}{Z_4} = 1,026 \\ Z_4 + Z'_4 = 54 \end{cases}$$

Sistema ebatzita:

$$Z_4 = 26 \text{ hortz}$$

$$Z'_4 = 28 \text{ hortz}$$

5. abiadura \rightarrow

Transmisio erlazioa jakinda (0,822 : 1) eta pinoiaren eta koroaren hortzen batura 54 hortz izan behar dela jakinda:

$$\begin{cases} i_5 = \frac{Z'_5}{Z_5} = 0,822 \\ Z_5 + Z'_5 = 54 \end{cases}$$

Sistema ebatzita:

$$Z_5 = 29 \text{ hortz}$$

$$Z'_5 = 25 \text{ hortz}$$

6. abiadura →

Transmisio erlazioa jakinda (0,681 : 1) eta pinoiaren eta koroaren hortzen batura 54 hortz izan behar dela jakinda:

$$\begin{cases} i_6 = \frac{Z'_6}{Z_6} = 0,681 \\ Z_6 + Z'_6 = 54 \end{cases}$$

Sistema ebatzita:

$$Z_6 = 32 \text{ hortz}$$

$$Z'_6 = 22 \text{ hortz}$$

Hortz kopurua zenbaki oso bat izan behar denez aldaketa txiki batzuk egin behar izan dira eta ondorioz transmisio erlazioak zertxobait aldatu dira. Jarraian aldaketa hauek transmisioan duen eragina aztertuko da, lortutako balioak hasierako balioekin konparatuko dira eta kalkuluak egokiak diren ala ez arrazoituko da.

Transmisio erlazio teorikoa	Hortz kopurua	Transmisio erlazio erreala
$i_1 = 3,545$	$Z_1 = 12$ $Z_1' = 42$	$i_1 = 3,5$
$i_2 = 1,920$	$Z_2 = 18$ $Z_2' = 36$	$i_2 = 2$
$i_3 = 1,323$	$Z_3 = 23$ $Z_3' = 31$	$i_3 = 1,348$
$i_4 = 1,026$	$Z_4 = 26$ $Z_4' = 28$	$i_4 = 1,077$
$i_5 = 0,822$	$Z_5 = 29$ $Z_5' = 25$	$i_5 = 0,862$
$i_6 = 0,681$	$Z_6 = 32$ $Z_6' = 22$	$i_6 = 0,687$

Ikus daitekeenez, balio errealak ez daude balio teorikoetatik urrun eta, beraz, egingako kalkuluak egokiak direla ondorioztatu daiteke.

3.4.2.2. Engranajeen modulua

Moduluaren kalkulua egiteko *Makinen Diseinua* ikasgaiaren erabilitako liburuan datorren formula erabiliko da:

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{143240 * N * (i + 1) * (\cos \beta)^4}{K_{onar} * Z^2 * \Psi * \cos \alpha * \sin \alpha * n * i}}$$

Non:

m = modulua

N = Kotxearen potentzia = 275 ZP

i = transmisio erlazioa

β = Helizearen angelua = 20°

K_{onar} = Presio onargarria

Z = Hertz kopurua

Ψ = Gidatze faktorea

α = Eraso angelua

n = abiadura angeluarra

Kalkuluak burutu aurretik abiadura bakoitzaren funtzionamendu orduak definitu behar dira. Ibilgailu baten transmisio sistema oro har 300000 km-tarako diseinatzen da. Batz besteko abiadura bezala 60 km/h-ko balioa hartuko da. Datu horiekin abiadura kaxaren iraupena ezagutu daiteke:

$$Iraupena = \frac{300000 \text{ km}}{60 \text{ h}} = 5000 \text{ ordu}$$

Abiadura bakoitzari iraupen jakin bat esleituko zaio jarraian:

1. *abiadura*: 400 ordu

2. *abiadura*: 1100 ordu

3. *abiadura*: 1100 ordu

4. *abiadura*: 1100 ordu

5. *abiadura*: 900 ordu

6. *abiadura*: 250 ordu

Atzerako martxa: 150 ordu

Materialari dagokionez honako hau aukeratu da: 20MnCr5 altzairu tenplatu, $K = 80 \text{ kg/cm}^2$ -ko erresistentziaduna.

K erresistentziaren balioa funtzionamendu orduen eta materialaren araberako denez, jarraian ageri den taula erabiliko da interpolazioak egin eta K-ren balioa kalkulatzeko:

Para un valor de h diferente de 5000 horas, el valor de K_{adm} se hará = φK_{5000} . Los valores se extraen de la siguiente tabla										
Horas servicio h	150	312	625	1200	2500	5000	10000	40000	80000	150000
φ	3,2	2,5	2	1,6	1,25	1	0,8	0,5	0,4	0,32

$$K_{1,onar} = K_{onar} * \varphi_1 = 80 * 2,36 = 188,8 \text{ kg /cm}^2$$

$$K_{2,onar} = K_{onar} * \varphi_2 = 80 * 1,67 = 133,6 \text{ kg /cm}^2$$

$$K_{3,onar} = K_{onar} * \varphi_3 = 80 * 1,67 = 133,6 \text{ kg /cm}^2$$

$$K_{4,onar} = K_{onar} * \varphi_4 = 80 * 1,67 = 133,6 \text{ kg /cm}^2$$

$$K_{5,onar} = K_{onar} * \varphi_5 = 80 * 1,81 = 144,8 \text{ kg /cm}^2$$

$$K_{6,onar} = K_{onar} * \varphi_6 = 80 * 2,77 = 221,6 \text{ kg /cm}^2$$

$$K_{am,onar} = K_{onar} * \varphi_{am} = 80 * 3,2 = 256 \text{ kg /cm}^2$$

$$K_{hk,onar} = K_{onar} = 80 \text{ kg /cm}^2$$

Gida faktoreari dagokionez, $\Psi = 10$ balioa erabiliko da kotxeak ohiko erabilera eta baldintzak izango baititu.

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)

Ibilgailuaren potentzia 200 ZP da eta erabiliko den abiadura angeluarra 4000 bira/minutuko izango da. Motorrak 1700 bira/minututik 4000 bira/minutura bitartean emango du momentu bihurtzaile maximoa (275 N.m), baina egoera bortitzena w maximoa denean ematen denez, datu hori erabiliko da moduluak definitzeko. Aipatzekoa da, baita, hortz gutxien duen gurgila hartu dela kalkuluak burutzeko.

Hartze konstantea \rightarrow

$$N = 200 \text{ ZP}$$

$$i_{hk} = 1$$

$$n = 4000 \text{ bira/minutu}$$

$$\Psi = 10$$

$$K_{hk,onar} = 80 \text{ kg/cm}^2$$

$$m_{hk} \geq \sqrt[3]{\frac{143240 * 200 * (1 + 1) * (\cos 20)^4}{80 * 27^2 * 10 * \cos 20 * \sin 20 * 4000 * 1}} =$$

$$m_{hk} = 0,391 \text{ cm} = 3,91 \text{ mm}$$

1. abiadura →

$$N = 200 \text{ ZP}$$

$$i_1 = 3,5$$

$$n = 4000 \text{ bira/minutu}$$

$$\Psi = 10$$

$$K_{1,onar} = 188,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$m_1 \geq \sqrt[3]{\frac{143240 * 200 * (3,5 + 1) * (\cos 20)^4}{188,8 * 12^2 * 10 * \cos 20 * \sin 20 * 4000 * 3,5}} =$$

$$m_1 = 0,435 \text{ cm} = 4,35 \text{ mm}$$

2. abiadura →

$$N = 200 \text{ ZP}$$

$$i_2 = 2$$

$$n = 4000 \text{ bira/minutu}$$

$$\Psi = 10$$

$$K_{2,onar} = 133,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$m_2 \geq \sqrt[3]{\frac{143240 * 200 * (2 + 1) * (\cos 20)^4}{133,6 * 18^2 * 10 * \cos 20 * \sin 20 * 4000 * 2}} =$$

$$m_2 = 0,365 \text{ cm} = 3,65 \text{ mm}$$

3. abiadura →

$$N = 200 \text{ ZP}$$

$$i_3 = 1,348$$

$$n = 4000 \text{ bira/minutu}$$

$$\Psi = 10$$

$$K_{3,onar} = 133,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$m_3 \geq \sqrt[3]{\frac{143240 * 200 * (1,348 + 1) * (\cos 20)^4}{133,6 * 23^2 * 10 * \cos 20 * \sin 20 * 4000 * 1,348}} =$$

$$m_3 = 0,350 \text{ cm} = 3,50 \text{ mm}$$

4. abiadura \rightarrow

$$N = 200 \text{ ZP}$$

$$i_4 = 1,077$$

$$n = 4000 \text{ bira/minutu}$$

$$\Psi = 10$$

$$K_{4,onar} = 133,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$m_4 \geq \sqrt[3]{\frac{143240 * 200 * (1,077 + 1) * (\cos 20)^4}{133,6 * 26^2 * 10 * \cos 20 * \sin 20 * 4000 * 1,077}} =$$

$$m_4 = 0,333 \text{ cm} = 3,33 \text{ mm}$$

5. abiadura \rightarrow

$$N = 200 \text{ ZP}$$

$$i_5 = 0,862$$

$$n = 4000 \text{ bira/minutu}$$

$$\Psi = 10$$

$$K_{5,onar} = 144,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$m_5 \geq \sqrt[3]{\frac{143240 * 200 * (0,862 + 1) * (\cos 20)^4}{144,8 * 25^2 * 10 * \cos 20 * \sin 20 * 4000 * 0,862}} =$$

$$m_5 = 0,346 \text{ cm} = 3,46 \text{ mm}$$

6. abiadura \rightarrow

$$N = 200 \text{ ZP}$$

$$i_6 = 0,687$$

$$n = 4000 \text{ bira/minutu}$$

$$\Psi = 10$$

$$K_{\delta,onar} = 221,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$m_6 \geq \sqrt[3]{\frac{143240 * 200 * (0,687 + 1) * (\cos 20)^4}{221,6 * 22^2 * 10 * \cos 20 * \sin 20 * 4000 * 0,687}} =$$

$$m_6 = 0,341 \text{ cm} = 3,41 \text{ mm}$$

Ikus daitekeenez, moduluaren balio murriztaileena lehenbiziko abiaduran ematen da: $m > 4,35 \text{ mm}$. Beraz, hortz guztietan modulu bezala 5 mm erabiltzea erabaki da. 1 serieko engranajeak erabiliko dira.

3.4.2.3. Ardatzen arteko distantzia

Distantzia hau bat etorriko da kontaktu egingo duten gurpilen zentroen arteko distantziarekin eta konstante mantenduko da ardatz osoan zehar. Ardatzen arteko distantzia kalkulatzeko honako formula erabiliko da:

$$d = R + R' = \frac{m}{2} * \frac{Z + Z'}{\cos \beta}$$

$$d = \frac{5}{2} * \frac{54}{\cos 20} = 143,664 \text{ mm}$$

3.4.2.4. Atzerako martxaz arduratzen diren engranajeen kalkulua

Atzerako martxa hortz zuzena duten 3 gurpilez osatuta dago: pinoia, koroa eta hauen artean kokatuko den eta biraketaren norantza aldatzeaz arduratuko den gurpila.

Lehenbiziko abiaduraz egin den bezala, atzerako martxaz ere prozesu bera jarraituko da. Gurpilen hortz kopurua kalkulatu da, ondoren modulua definitu da eta, azkenik, gurpilen arteko distantzia kalkulatu da. Hortz kopuru minimoa lehen definitu den berdina izango da: 12. Hauxe izango da Z_{am} gurpilak izango duen hortz kopurua.

$$i_{am} = \frac{Z'_{am}}{Z_{am}} = 3,367$$

$$Z'_{am} = Z_{am} * 3,367 = 40 \text{ hortz}$$

Hirugarren gurpila (biraketa norantza aldatzeaz arduratzen dena) pinoiaren eta koroaren artean kokatzen. Gurpil honen dimentsioak pinoiaren berdinak izango dira diseinua erraztu eta kostua gutxitzeko.

Pinoia-Norantza aldatzeaz arduratzen den engranajea →

Aurretik burutu den prozesu bera jarraituko da, ezberdintasun bakarrarekin: kasu honetan $\beta = 0^\circ$ izango da, hortzak zuzenak izango baitira.

$$N = 200 \text{ ZP}$$

$$i_{am} = 1$$

$$n = 4000 \text{ bira/minutu}$$

$$\Psi = 10$$

$$K_{am,onar} = 256 \text{ kg/cm}^2$$

$$m_{am} \geq \sqrt[3]{\frac{143240 * 200 * (1 + 1) * (\cos 0) ^4}{256 * 12^2 * 10 * \cos 20 * \sin 20 * 4000 * 1}} =$$

$$m_{am} = 0,494 \text{ cm} = 4,94 \text{ mm}$$

Norantza aldatzeaz arduratzen den engranajea-Koroa →

Berdin. Kasu honetan ere aldaketa bakarra $\beta = 0^\circ$ dela izango da, hortz zuzeneko gurpilak baitira.

$$N = 200 \text{ ZP}$$

$$i_{am} = 3,367$$

$$n = 4000 \text{ bira/minutu}$$

$$\Psi = 10$$

$$K_{am,onar} = 256 \text{ kg/cm}^2$$

$$m_{am} \geq \sqrt[3]{\frac{143240 * 200 * (3,367 + 1) * (\cos 0) ^4}{256 * 12^2 * 10 * \cos 20 * \sin 20 * 4000 * 3,367}} =$$

$$m_{am} = 0,428 \text{ cm} = 4,28 \text{ mm}$$

Modulu handiena Pinoia-Norantza aldatzeaz arduratzen den engranajea bikoteak definitzen du: 4,94 mm. Hortaz, gurpilentzako 5 mm-ko modulua erabiliko da. 1 serieko engranajeak erabiliko dira kasu honetan ere.

Kalkulatutako balioak zuzenak diren konprobatuko da jarraian. Ardatzen arteko distantzia (oraintxe kalkulatu berri dena) pinoiaren eta koroaren erradioen batura baino handiagoa izan beharko da funtzionamendua bermatzeko.

$$d = 143,664 \text{ mm} > R_Z + R'_Z = \frac{m}{2} * \frac{Z + Z'}{1} + 2 * m$$

$$R_Z + R'_Z = \frac{5}{2} * \frac{12 + 40}{1} + 2 * 5 = 140 \text{ mm} < 143,664 \text{ mm}$$

Beraz, kalkulatuak ondo daude. 3 gurpilen arteko distantzia ondokoa izango da:

$$R_p + R_{pe} = \frac{m}{2} + (Z + Z') = \frac{5}{2} * (12 + 12) = 60 \text{ mm}$$

$$R_k + R_{pe} = \frac{m}{2} + (Z + Z') = \frac{5}{2} * (12 + 40) = 130 \text{ mm}$$

3.4.2.5. Engranajeen dimentsionaketa

Atal honetan engranaje guztien dimentsionaketa burutuko da hauek fabrikatzeko beharrezkoak diren parametro guztiak definituz.

Horretarako erabiliko diren formula guztiak Francisco Gracia Muñozen liburutik aterako dira. Lehenbizi pinoiak kalkulatu dira eta ostean koroak.

PINOIAK →

PINOIAK (Z)		HK	1	2	3	4	5	6	AM
Hortz kopurua	Z	27	12	18	23	26	29	32	12
Helizearen angelua	β	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°	0°
Presio angelua	α	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°
Zabalera [mm]	$b = \psi * m$	50	50	50	50	50	50	50	50
Pausoa [mm]	$p = \pi * m$	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7
Modulua [mm]	m	5	5	5	5	5	5	5	5
R primitiboa [mm]	$R = (m/2) * (Z / \cos[\beta])$	71,83	31,93	47,89	61,19	69,17	77,15	85,13	30

Addendum-a [mm]	$h_b = m$	5	5	5	5	5	5	5	5
Deddendum-a [mm]	$h_a = m+j$	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25
Lasaiera [mm]	$j = 0,25*m$	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Hortzen altuera [mm]	$h = h_b+h_a$	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25
Lodiera [mm]	$s = p/2$	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85
R burua [mm]	$R_b = R+h_b$	76,83	36,93	52,89	66,19	74,17	82,15	90,13	35
R azpia [mm]	$R_a = R-h_a$	65,58	25,68	41,64	54,94	62,92	70,9	78,88	23,75
R oinarrikoa [mm]	$R_o = R*\cos\{\alpha\}$	67,5	30	45	57,5	65	72,5	80	28,2

KOROAK →

KOROAK (Z')		HK	1	2	3	4	5	6	AM
Hortz kopurua	Z	27	42	36	31	28	25	22	40
Helizearen angelua	β	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°	0°
Presio angelua	α	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°
Zabalera [mm]	$b = \psi*m$	50	50	50	50	50	50	50	50
Pausoa [mm]	$p = \pi*m$	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7
Modulua [mm]	m	5	5	5	5	5	5	5	5

R primitiboa [mm]	$R = (m/2) * (Z / \cos \beta)$	71,83	111,74	95,77	82,47	74,5	66,5	58,53	100
Addendum-a [mm]	$h_b = m$	5	5	5	5	5	5	5	5
Deddendum-a [mm]	$h_a = m + j$	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25
Lasaiera [mm]	$j = 0,25 * m$	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Hortzen altuera [mm]	$h = h_b + h_a$	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25
Lodiera [mm]	$s = p/2$	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85
R burua [mm]	$R_b = R + h_b$	76,83	116,74	100,77	87,47	79,50	71,5	63,53	105
R azpia [mm]	$R_a = R - h_a$	65,58	105,49	89,52	76,22	68,25	60,25	52,28	93,75
R oinarrikoa [mm]	$R_o = R * \cos \alpha$	67,5	105	90	77,5	70	62,5	55	94

Biraketaren norantza aldatzeaz arduratuko den gurpila →

Atzerako martxan 3 gurpilek egingo dute lan: pinoia (Z_{am}), koroa (Z'_{am}) eta biraketaren norantza aldatzeaz arduratuko den gurpila ($Z_{x,am}$). Pinoia tarteko ardatzean kokatuko da, koroa ardatz sekundarioan, eta norantza aldatzeaz arduratuko den gurpila bi ardatz horien tartean kokatuko da, ardatz txiki batetan. Pinoia eta koroa dimentsionatuak izan dira jada, baina norantza aldatzeaz arduratuko den engranajea ez da definitu oraindik. Lan hori egingo da jarraian:

Biraketa norantza aldatzeko gurpila ($Z_{x,am}$):

- Hortz kopurua

$$Z = 12$$

- Helizearen angelua

$$\beta = 0^\circ$$

- Presio angelua

- Zabalera

$$\alpha = 20^\circ$$

$$b = \psi * m = 50 \text{ mm}$$
- Pausoa

$$p = \pi * m = 15,70 \text{ mm}$$
- Modulua

$$m = 5 \text{ mm}$$
- R primitiboa

$$R = \frac{m}{2} * \frac{Z}{\cos \beta} = 30 \text{ mm}$$
- Addendum

$$h_b = m = 5 \text{ mm}$$
- Dedendum

$$h_a = m + j = 6,25 \text{ mm}$$
- Lasaiera

$$j = 0,25 * m = 1,25 \text{ mm}$$
- Hortzen altuera

$$h = h_b + h_a = 11,25$$
- Lodiera

$$s = \frac{p}{2} = 7,85 \text{ mm}$$
- R burua

$$R_b = R + h_b = 35 \text{ mm}$$
- R azpia

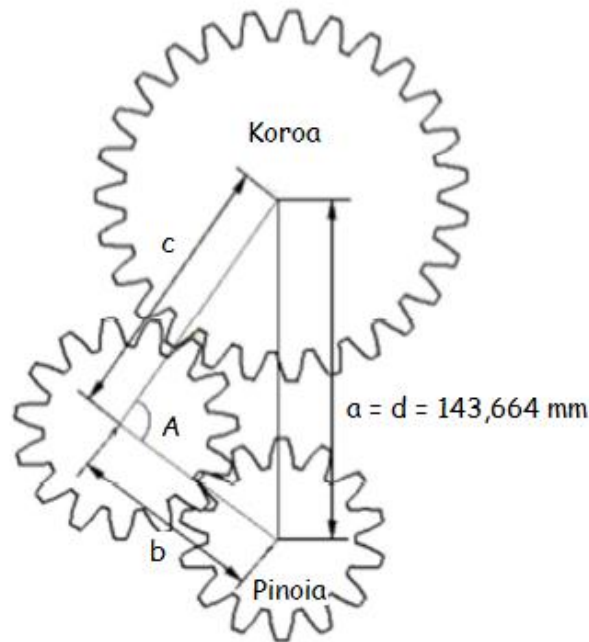
$$R_a = R - h_a = 23,75 \text{ mm}$$
- R oinarrizkoa

$$R_o = R * \cos \alpha = 28,20 \text{ mm}$$

3.4.2.6. Atzerako martxaz arduratzen diren engranajeen kokapena

Esan bezala, atzerako martxan 3 gurpilek egingo dute lan: pinoia, koroa eta biraketa norantza aldatzeaz arduratuko den gurpila. Pinoia tarteko ardatzean kokatuko da, koroa ardatz sekundarioan, eta norantza aldatzeaz arduratuko den gurpila bi ardatz horien tartean kokatuko da, ardatz txiki batetan.

Jarraian ardatz horren (eta, honenbestez, gurpilaren) posizioa kalkulatu da.



Jakinekoa da tarteko ardatzaren eta ardatz sekundarioaren artean 143,667 mm egongo direla. Datu hau kontutan izanda eta hiru gurpilentzako hautatu diren hortzak eta modulua erabilita, A angeluaren balioa ezagutuko da.

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 * b * c * \cos A$$

b eta c distantziak ezagunak dira:

$$b = (Z_{am} + Z_{x,am}) * \frac{m}{2} = (12 + 12) * \frac{5}{2} = 60 \text{ mm}$$

$$c = (Z_{x,am} + Z'_{am}) * \frac{m}{2} = (12 + 40) * \frac{5}{2} = 130 \text{ mm}$$

Formula aplikatuz:

$$143,664^2 = 60^2 + 130^2 - 2 * 60 * 130 * \cos A$$

$$A = 90,51^\circ$$

3.4.2.7. Indarrak hortzetan

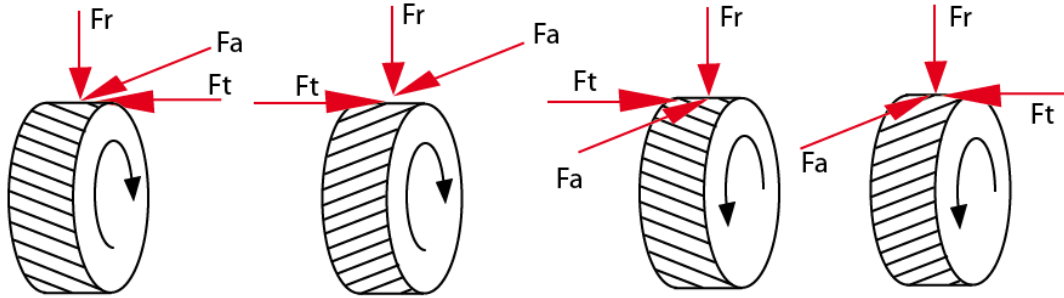
Engranajeen hortzek zenbait indar jasan behar dituzte gurpilen arteko kontaktua dela eta. Hauek maximoak izango dira motorrak momentu bihurtzaile maximoa ematen duenean. Jakinekoa da, baita, momentu bihurtzaile maximo hau 1700 bira/minututik

4000 bira/minutura bitartean emango duela motorrak. Beraz, egoera kaltegarriena (abiadura angeluar handiena duena) aztertuko da.

$$T = 275 \text{ N.m}$$

$$n = 4000 \text{ bira/minutuko}$$

Hortzen gainean eragiten duten indar hauek kalkulatzeko honako ekuazio hauek erabiltzen dira:



$$\text{Indar tangenziala: } U = \frac{T}{R}$$

$$\text{Indar erradiala: } F_R = U * \text{tg} \alpha_a$$

$$\text{Indar axiala: } F_a = U * \text{tg} \beta_a$$

$$\text{Indar totala: } W = \sqrt{U^2 + F_R^2 + F_a^2}$$

Aipatzekoa da engranaje baten sortuko diren indarrak honen bikotean sortuko diren berdinak direla, hau da, kontaktuan dauden pinoian eta koroan indar berdinak sortuko dira.

Hartze konstantea \rightarrow

$$U_{hk} = \frac{T}{R} = \frac{275000 \text{ N.mm}}{71,83 \text{ mm}} = 3828,48 \text{ N}$$

$$F_{R\ hk} = U * \text{tg} \alpha_a = 3828,48 * \text{tg} 20^\circ = 1393,45 \text{ N}$$

$$F_{a\ hk} = U * \text{tg} \beta_a = 3828,48 * \text{tg} 20^\circ = 1393,45 \text{ N}$$

$$W_{hk} = \sqrt{U^2 + F_{hk}^2 + F_{hk}^2} = \sqrt{3828,48^2 + 1393,45^2 + 1393,45^2} = 4305,89 \text{ N}$$

1. abiadura \rightarrow

$$U_1 = \frac{T}{R} = \frac{275000 \text{ N.mm}}{31,93 \text{ mm}} = 8612,59 \text{ N}$$

$$F_{R1} = U * tg\alpha_a = 8612,59 * tg 20^\circ = 3134,73 N$$

$$F_{a1} = U * tg\beta_a = 8612,59 * tg 20^\circ = 3134,73 N$$

$$W_1 = \sqrt{U^2 + F_R^2 + F_a^2} = \sqrt{8612,59^2 + 3134,73^2 + 3134,73^2} = 9686,58 N$$

2. abiadura →

$$U_2 = \frac{T}{R} = \frac{275000 N \cdot mm}{47,89 mm} = 5742,33 N$$

$$F_{R2} = U * tg\alpha_a = 5742,33 * tg 20^\circ = 2090,04 N$$

$$F_{a2} = U * tg\beta_a = 5742,33 * tg 20^\circ = 2090,04 N$$

$$W_2 = \sqrt{U^2 + F_R^2 + F_a^2} = \sqrt{5742,33^2 + 2090,04^2 + 2090,04^2} = 6458,40 N$$

3. abiadura →

$$U_3 = \frac{T}{R} = \frac{275000 N \cdot mm}{61,19 mm} = 4494,20 N$$

$$F_{R3} = U * tg\alpha_a = 4494,20 * tg 20^\circ = 1635,75 N$$

$$F_{a3} = U * tg\beta_a = 4494,20 * tg 20^\circ = 1635,75 N$$

$$W_3 = \sqrt{U^2 + F_R^2 + F_a^2} = \sqrt{4494,20^2 + 1635,75^2 + 1635,75^2} = 5054,62 N$$

4. abiadura →

$$U_4 = \frac{T}{R} = \frac{275000 N \cdot mm}{69,17 mm} = 3975,71 N$$

$$F_{R4} = U * tg\alpha_a = 3975,71 * tg 20^\circ = 1447,04 N$$

$$F_{a4} = U * tg\beta_a = 3975,71 * tg 20^\circ = 1447,04 N$$

$$W_4 = \sqrt{U^2 + F_R^2 + F_a^2} = \sqrt{3975,71^2 + 1447,04^2 + 1447,04^2} = 4471,48 N$$

5. abiadura →

$$U_5 = \frac{T}{R} = \frac{275000 N \cdot mm}{77,15 mm} = 3564,48 N$$

$$F_{R5} = U * tg\alpha_a = 3564,48 * tg 20^\circ = 1297,36 N$$

$$F_{a5} = U * tg\beta_a = 3564,48 * tg 20^\circ = 1297,36 N$$

$$W_5 = \sqrt{U^2 + F_R^2 + F_a^2} = \sqrt{3564,48^2 + 1297,36^2 + 1297,36^2} = 4008,96 N$$

6. abiadura →

$$U_6 = \frac{T}{R} = \frac{275000 N \cdot mm}{85,13 mm} = 3230,35 N$$

$$F_{R6} = U * tg\alpha_a = 3230,35 * tg 20^\circ = 1175,75 N$$

$$F_{a6} = U * tg\beta_a = 3230,35 * tg 20^\circ = 1175,75 N$$

$$W_6 = \sqrt{U^2 + F_R^2 + F_a^2} = \sqrt{3230,35^2 + 1175,75^2 + 1175,75^2} = 3633,17 \text{ N}$$

Atzerako martxa →

Atzerako martxaz arduratzen diren engranajeak hortz zuzendunak izango dira eta, beraz, ez dute indar axialik eragingo ($\beta = 0$):

$$F_{a\ am} = 0 \text{ N}$$

Indar tangenziala eta erradiala hortz helikoidaldun gurpiletan egin den bezala definituko dira:

$$U_{am} = \frac{T}{R} = \frac{275000 \text{ N}\cdot\text{mm}}{30 \text{ mm}} = 9166,67 \text{ N}$$

$$F_{R\ am} = U * \text{tg}\alpha_a = 9166,67 * \text{tg} 20^\circ = 3336,39 \text{ N}$$

$$W_{am} = \sqrt{U^2 + F_R^2} = \sqrt{9166,67^2 + 3336,39^2} = 9860,41 \text{ N}$$

3.4.2.8. Pinoien konprobaketa erresistentzia kontuan izanda

Behin abiadura bakoitzean gurpiletan sortuko diren indarrak zehaztu ostean engranajeak indar hauek jasateko gai diren ala ez konprobatu behar da. Horretarako soilik indar tangenziala izango da kontuan, honek eragiten duen tentsioa (makurdura) askoz handiagoa baita indar erradialak eragiten duen tentsioa (ebakitzaila) baino.

Honako ekuazioa erabiliko da konprobaketa egiteko:

$$\sigma_{makurdura} = \frac{1,115 * U}{b * m} * q \leq \sigma_{onargarria}$$

Non,

$\sigma_{onargarria}$ = Materialaren tentsio maximoa makurduran

U = Indar tangenziala

b = Hortzen zabalera

m = Modulua

q = Wissmanen koefizientea

$\sigma_{makurdura}$ = Materialak makurduran jasan dezakeen tentsio maximoa

Engranajeen modulu kalkulatzeko orduan aipatu den bezala osagai hauek egiteko aukeratu den materiala 20MnCr5 altzairu tenplatu da. Azpiko taulatik material horrek makurduran jasan dezakeen tentsio maximoa zehaztu da.

Materiala	DIN Izendapena	Trata- mendua	Trakzio erresist. σ_B	Isurpen limite minimoa σ_S	Brinell gogortasuna DB	Neke erresist. flexio alternatiboan σ_{-1}	Esfortzu onarg. abiadura medio eta altuetan $\sigma_{onarg.}$
			kg/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	kg/cm ²
Burdinurta grisa	GG-18		≥ 18		150-170	± 8,5	350-450
	GG-22		≥ 22		180-220	± 11	450-550
	GG-26		≥ 26		200-220	± 12	550-650
Altzairu moldatua	GS-45	suber.	≥ 45	22	125-160	± 20	650-750
	GS-52	suber.	≥ 52	25	145-190	± 22	750-900
Makinenzak o altzairu aleatu gabea	St 50		50-60	27	145-174	± 24	850-1100
	St 60		60-70	30	174-205	± 28	1000-1250
	St 70		70-85	35	205-248	± 33	1200-1400
Altzairu zementatua aleatu gabea	Ck 15	tenp.	50-65 ¹⁾	30	600 ²⁾	± 25	1000-1250
Altzairu hobetua aleatu gabea	Ck 45	hob.	65-80	40	190-230	± 30	1100-1300
	Ck 60	hob.	75-90	49	217-265	± 35	1300-1500
Altzairu manganeso hobetua	30Mn5	hob.	80-95	55	230-270	± 38	1500-2000
	37MnSi5	hob.	90-105	65	260-300	± 45	2000-3000
	42MnV7	hob.	100-120	80	290-350	± 50	3000-4000
Altzairu zementatua aleatua	16MnCr5	tenp.	80-110	60		± 43	1900-3000
	20MnCr5	tenp.	100-130	70		± 47	2200-3400
	15CrNi6	tenp.	90-120 ¹⁾	65	600 ²⁾	± 45	2000-3000
	18CrNi8	tenp.	120-145	80		± 50	3000-4000
	14NiCrMo13-4	tenp.	105-130	100		± 50	3000-4000

$$\sigma_{onargarria} = 3400 \frac{kg}{cm^2} = 34 \frac{kg}{mm^2}$$

Wissmanen koefizientea kalkulatzeko, berriz, honako taula erabiliko da:

Ángulo de engrane $\alpha = 15^\circ$	Dentado exterior	z															
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
		q	5,4	5,2	5,1	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1	4,1		
	Dentado interior	z	26	28	30	33	36	40	48	60	76	100	140	200	∞		
		q	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9	2,8		
Ángulo de engrane $\alpha = 20^\circ$	Dentado exterior	z	10	11	12	13	14	15	16	17	18	21	24	28	34		
		q	5,2	4,9	4,6	4,4	4,1	3,9	3,8	3,6	3,5	3,3	3,2	3,1	3,0		
	Dentado interior	z	40	50	65	80	100	∞									
		q	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,5									
	Dentado interior	z	∞	200	100	70	50	38	30	24	20						
		q	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7						

Ikus daitekeenez, q -ren balioa hertz kopuruaren arabera izango da. Beraz, interpolazioak burutu beharko dira koefiziente honek abiadura bakoitzean duen balioa kalkulatzeko.

Hartze konstantea \rightarrow

q_{hk} kalkulatzeko:

$$Z_{hk} = 27 \text{ hertz}$$

$$Z_{n\ hk} = \frac{Z_{hk}}{\cos \beta^3} = 32,54 \rightarrow 33 \text{ hertz}$$

$$q_{hk} = 3,01$$

Gainontzeko datuak:

$$U_{hk} = 3828,48 \text{ N} = 390,26 \text{ kg}$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$m = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{makurdura\ hk} = \frac{1,115 * 390,26}{50 * 5} * 3,01 = 5,24 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{makurdura\ hk} = 5,24 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} < \sigma_{onargarria} = 34 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Hortaz aukeraketa egokia da.

1. abiadura \rightarrow

q_1 kalkulatzeko:

$$Z_1 = 12 \text{ hertz}$$

$$Z_{n1} = \frac{Z_1}{\cos \beta^3} = 14,46 \rightarrow 14 \text{ hertz}$$

$$q_1 = 4,1$$

Gainontzeko datuak:

$$U_1 = 8612,59 \text{ N} = 877,94 \text{ kg}$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$m = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{makurdura\ 1} = \frac{1,115 * 877,94}{50 * 5} * 4,1 = 16,05 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{makurdura 1} = 16,05 \frac{kg}{mm^2} < \sigma_{onargarrria} = 34 \frac{kg}{mm^2}$$

Hortaz aukeraketa egokia da.

2. abiadura \rightarrow

q_2 kalkulatzeko:

$Z_2 = 18$ hertz

$$Z_{n2} = \frac{Z_2}{\cos \beta^3} = 21,70 \rightarrow 22 \text{ hertz}$$

$$q_2 = 3,27$$

Gainontzeko datuak:

$$U_2 = 5742,33 \text{ N} = 585,35 \text{ kg}$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$m = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{makurdura 2} = \frac{1,115 * 585,35}{50 * 5} * 3,27 = 8,54 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{makurdura 2} = 8,54 \frac{kg}{mm^2} < \sigma_{onargarrria} = 34 \frac{kg}{mm^2}$$

Hortaz aukeraketa egokia da.

3. abiadura \rightarrow

q_3 kalkulatzeko:

$Z_3 = 23$ hertz

$$Z_{n3} = \frac{Z_3}{\cos \beta^3} = 27,72 \rightarrow 28 \text{ hertz}$$

$$q_3 = 3,1$$

Gainontzeko datuak:

$$U_3 = 4494,20 \text{ N} = 458,12 \text{ kg}$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$m = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{makurdura 3} = \frac{1,115 * 458,12}{50 * 5} * 3,1 = 6,33 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{makurdura\ 3} = 6,33 \frac{kg}{mm^2} < \sigma_{onargarría} = 34 \frac{kg}{mm^2}$$

Hortaz aukeraketa egokia da.

4. abiadura →

q_4 kalkulatzeko:

$Z_4 = 12$ hertz

$$Z_{n4} = \frac{Z_4}{\cos \beta^3} = 31,33 \rightarrow 31 \text{ hertz}$$

$$q_4 = 3,05$$

Gainontzeko datuak:

$$U_4 = 3975,71 \text{ N} = 405,27 \text{ kg}$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$m = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{makurdura\ 4} = \frac{1,115 * 405,27}{50 * 5} * 3,05 = 5,51 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{makurdura\ 4} = 5,51 \frac{kg}{mm^2} < \sigma_{onargarría} = 34 \frac{kg}{mm^2}$$

Hortaz aukeraketa egokia da.

5. abiadura →

q_5 kalkulatzeko:

$Z_5 = 29$ hertz

$$Z_{n5} = \frac{Z_5}{\cos \beta^3} = 34,95 \rightarrow 35 \text{ hertz}$$

$$q_5 = 2,98$$

Gainontzeko datuak:

$$U_5 = 3564,48 \text{ N} = 363,35 \text{ kg}$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$m = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{makurdura\ 5} = \frac{1,115 * 363,35}{50 * 5} * 2,98 = 4,83 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{makurdura 5} = 4,83 \frac{kg}{mm^2} < \sigma_{onargarrria} = 34 \frac{kg}{mm^2}$$

Hortaz aukeraketa egokia da.

6. abiadura →

q_6 kalkulatzeko:

$Z_6 = 32$ hertz

$$Z_{n6} = \frac{Z_6}{\cos \beta^3} = 38,56 \rightarrow 39 \text{ hertz}$$

$$q_6 = 2,92$$

Gainontzeko datuak:

$$U_6 = 3230,35 \text{ N} = 329,29 \text{ kg}$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$m = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{makurdura 6} = \frac{1,115 * 329,29}{50 * 5} * 2,92 = 4,29 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{makurdura 6} = 4,29 \frac{kg}{mm^2} < \sigma_{onargarrria} = 34 \frac{kg}{mm^2}$$

Hortaz aukeraketa egokia da.

Atzerako martxa →

q_{am} kalkulatzeko:

$Z_{am} = 12$ hertz

Kasu honetan $\beta = 0^\circ$ da.

$$Z_{nam} = \frac{Z_{am}}{\cos \beta^3} = Z_{am} = 12 \rightarrow 12 \text{ hertz}$$

$$q_{am} = 4,6$$

Gainontzeko datuak:

$$U_{am} = 9166,67 \text{ N} = 934,42 \text{ kg}$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$m = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{makurdura\ am} = \frac{1,115 * 934,42}{50 * 5} * 4,6 = 19,17\ kg/mm^2$$

$$\sigma_{makurdura\ am} = 19,17\ \frac{kg}{mm^2} < \sigma_{onargarria} = 34\ \frac{kg}{mm^2}$$

Hortaz aukeraketa egokia da.

Konprobaketa guztiak eginda engranjeentzako aukeratu den materiala eta dimentsionamendua egokiak direla ondorioztatu da.

3.4.3. Ardatzen kalkulua

Atal honetan abiadura kaxa osatzen duten 3 ardatzen diametroak definituko dira:

- Ardatz primarioa. Ardatz honek alde batetik motorrak emandako potentzia jasoko du eta, bestetik, momentu bihurtzailea hurrengo ardatzera, tarteko ardatzera alegia, transmitituko du. Azken prozesu honen transmisio erlazioa 1:1 izango da.
- Tarteko ardatza. Esan bezala, ardatz hau ardatz primarioarekin kontaktuan egongo da uneoro hartze konstantedun engranje baten bidez. Hartze konstantedun engranje horretaz gain, abiadura bakoitzari dagokion engranje helikoidala (6 totalen) eta atzerako martxara bideratutako hortz zuzendun engranjea ere ardatz honetan kokatuko dira. Ardatz hau kokatzeko izkinetan ezarriko diren bi errodamendu erabiliko dira.
- Ardatz sekundarioa. Hauxe da diferentzialera potentzia transmititzen duen osagaia. Ardatz hau ere 6 engranje helikoidalez eta engranje zuzen batez osatzen da. Honen finkapena burutzeko, tarteko ardatzean gertatzen den bezala, errodamendu bi erabiliko dira. Elementu hauetaz gain ardatz honetan aurkitzen diren beste osagai garrantzitsu batzuk ere azpimarratu behar ditugu: sinkronizatazaileak. Hauek izango dira abiadura definituko duten elementuak.
- Atzerako martxaren ardatza. Atzerako martxa 3 gurpilek osatuko dute: pinoia, koroa eta biraketaren norantza aldatzeaz arduratuko den gurpila. Pinoia tarteko ardatzean kokatuko da, koroa ardatz sekundarioan, eta biraketaren norantza aldatuko duen engranjea ardatz txiki baten kokatuko da, tarteko ardatzaren eta ardatz sekundarioaren artean, beste bi engranjeekin kontaktua eginez.

Ardatz primarioaren, tarteko ardatzaren eta ardatz sekundarioaren diametroak kalkulatzeko ardatzek jasan behar dituzten indarrak izan behar dira kontuan: gurpilen arteko kontaktua dela eta aurretik kalkulatu ditugun indarrak agertuko dira, eta hauek jasateko gai izan beharko dira ardatzak. Indarrak, gainera, elkarren artean perpendikularrak izango dira eta horrek bi planotan eragingo du makurdura. Bestalde, berma puntuetan sortuko diren erreakzioak ere kontuan izan beharko dira.

Kalkuluak burutzeko ASME kodigoa erabiliko da. Izan ere, kodigo honek kontuan hartzen ditu ardatzek jasango dituzten talkak eta euren bizitzan zehar agertuko den nekea. Hona hemen erabiliko den formula:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_{yp}} * \sqrt{(C_m * M)^2 + (C_t * M)^2}}$$

Non:

d = Ardatzaren diametroa

CS = Segurtasun koefizientea ($CS = 2$ hartuko da)

σ_{yp} = Materialaren isurpen tentsioa (34Cr4 materiala hartuta, $\sigma_{yp} = 981 \text{ N/mm}^2$)

C_m = Momentu makurtzailearentzako neke koefizientea

M = Momentu makurtzailea

C_t = Momentu bihurtzailearentzako neke koefizientea

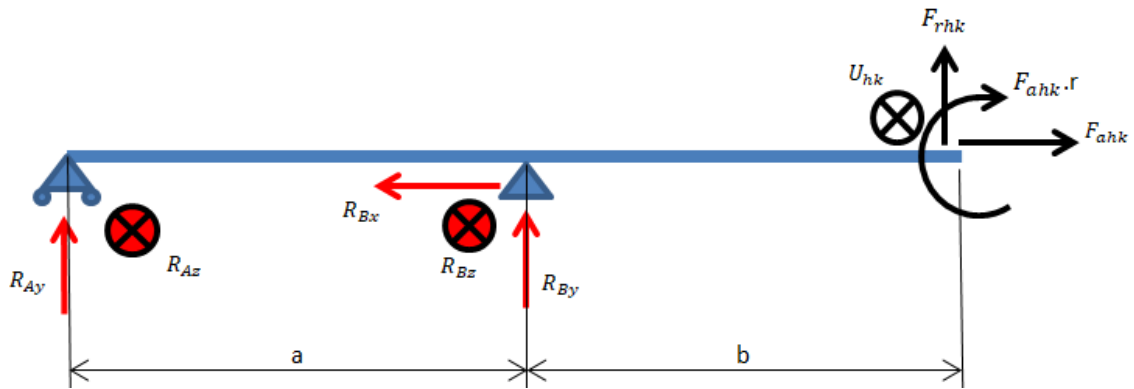
T = Momentu bihurtzailea

ASME kodigoari erreparatzen bazaio, neke eta talka koefizienteak (C_m eta C_t) ardatzari eragiten dioten indarren arabera direla ikus daiteke. Biraka dabilzan eta karga konstanteak jasaten dituzten ardatzen kasuan, $C_m = 1,5$ eta $C_t = 1$ dira.

	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, solo pequeños impactos	1.5-2.0	1.0-1.5
Cargas aplicadas repentinamente, grandes impactos.	2.0-3.0	1.5-3.0

3.4.3.1. Ardatz primarioa

Ardatz primarioa soilik engranaje bakar batez osatzen da. Alde batetik engragearekin konektatuta dago honek transmititzen dion momentu bihurtzailea jaso ahal izateko. Beste aldetik tarteko ardatzarekin konektatuta dago hartze konstantedun engranjearen bitartez. Engranaje bi hauen arteko erlazioa (ardatz primarioa – tarteko ardatza) 1:1 izango da, eta uneoro kontaktuan egongo diren engranjeen bidez (hartze konstantea) burutuko da.



Datuak:

$$U_{hk} = 3828,48 \text{ N}$$

$$F_{rhk} = 1393,45 \text{ N}$$

$$F_{ahk} = 1393,45 \text{ N}$$

$$R_{hk} = 71,83 \text{ mm}$$

$$a = 50 \text{ mm} \quad b = 50 \text{ mm}$$

Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Ax} - F_{ahk} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = -F_{rhk}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = -U_{hk}$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{By} * a = -F_{rhk} * (a + b) - F_{ahk} * R$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Bz} * a = -U_{hk} * (a + b)$$

Beraz:

$$R_{Az} = 3828,48 \text{ N}$$

$$R_{Ax} = 1393,45 \text{ N}$$

$$R_{By} = -4748,73 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 3355,28 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = -7656,96 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzeko. Momentu bihurtzailea motorrak sortuko duena izango da ez baita aldaketarik izango abiadura kaxan. Momentu makurtzailea, aldiz, kalkulatu egin beharko da.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = R_{Ay} * a$$

$$M_y = R_{Az} * a$$

Beraz:

$$M_z = 16764 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_y = 191424 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{167764^2 + 191424^2} = 662171,31 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 3828,48 * 71,83 = 275000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 662171,31)^2 + (1 * 275000)^2}} = 27,76 \text{ mm}$$

3.4.3.2. Tarteko ardatza

Ardatz hau ardatz primarioaren eta sekundarioaren tartean kokatzen da. Honen biraketa motorrenaren aurkakoa da. Abiadura bakoitzaren pinoi-koroa bikotea kokatuta dagoen sekzioan dauden momentu makurtzaile eta momentu bihurtzaile maximoa kalkulatu dira, ondoren goian erakutsi den formularen bidez sekzio horretarako ardatzak izan behar duen diametro minimoa kalkulatzeko.

1. abiadura →

Datuak:

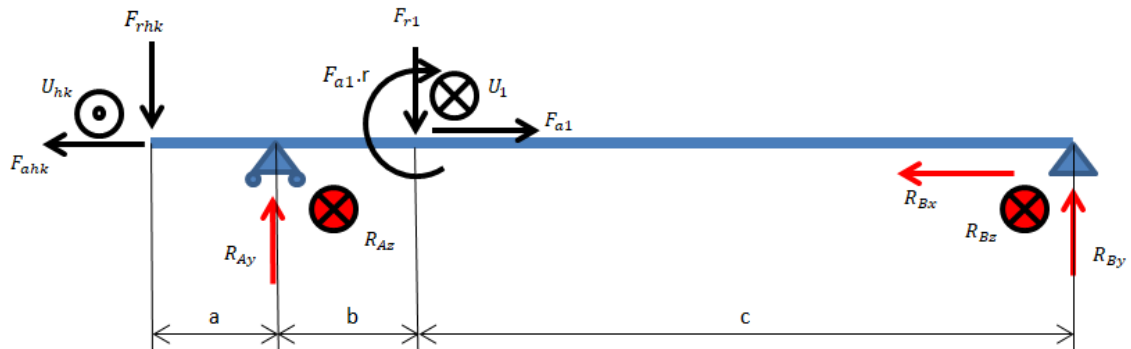
$$U_{hk} = 3828,48 \text{ N} \quad U_1 = 8612,59 \text{ N}$$

$$F_{rhk} = 1393,45 \text{ N} \quad F_{r1} = 3134,73 \text{ N}$$

$$F_{ahk} = 1393,45 \text{ N} \quad F_{a1} = 3134,73 \text{ N}$$

$$R_{hk} = 71,83 \text{ mm} \quad R_1 = 31,93 \text{ mm}$$

$$a = 56 \text{ mm} \quad b = 56 \text{ mm} \quad c = 638 \text{ mm}$$



Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} - F_{a1} + F_{ahk} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = F_{rhk} + F_{r1}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_{hk} + U_1$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (b + c) + F_{a1} * R_1 - F_{ahk} * R_{hk} = F_{rhk} * (a + b + c) + F_{r1} * c$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (b + c) = U_{hk} * (a + b + c) - U_1 * c$$

Beraz:

$$R_{Az} = -3780,22 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 1741,28 \text{ N}$$

$$R_{By} = 140,51 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 4387,67 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = -1003,89 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzeko. Momentu bihurtzailea motorrak sortuko duena izango da ez baita aldaketarik izango abiadura kaxan. Momentu makurtzailea, aldiz, kalkulatu egin beharko da.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = F_{a1} * R_1 - R_{By} * c$$

$$M_y = R_{Bz} * c$$

Beraz:

$$M_z = 10446,55 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_y = -640481,82 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{10446,55^2 + 640481,82^2} = 640567 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 8612,59 * 31,93 = 275000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 640567)^2 + (1 * 275000)^2}} = 27,48 \text{ mm}$$

2. abiadura →

Datuak:

$$U_{hk} = 3828,48 \text{ N} \quad U_2 = 5742,33 \text{ N}$$

$$F_{rhk} = 1393,45 \text{ N} \quad F_{r2} = 2090,04 \text{ N}$$

$$F_{ahk} = 1393,45 \text{ N} \quad F_{a2} = 2090,04 \text{ N}$$

$$R_{hk} = 71,83 \text{ mm} \quad R_2 = 47,89 \text{ mm}$$

$$a = 56 \text{ mm} \quad b = 172 \text{ mm} \quad c = 522 \text{ mm}$$

Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} - F_{a2} + F_{ahk} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = F_{rhk} + F_{r2}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_{hk} + U_2$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (b + c) + F_{a2} * R_2 - F_{ahk} * R_{hk} = F_{rhk} * (a + b + c) + F_{r2} * c$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (b + c) = U_{hk} * (a + b + c) - U_2 * c$$

Beraz:

$$R_{Az} = -181,75 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 696,59 \text{ N}$$

$$R_{By} = 405,55 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 3077,94 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = -1732,1 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzea. Momentu bihurtzailea motorrak sortuko duena izango da ez baita aldaketarik izango abiadura kaxan. Momentu makurtzailea, aldiz, kalkulatu egin beharko da.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = F_{a2} * R_2 - R_{By} * c$$

$$M_y = R_{Bz} * c$$

Beraz:

$$M_z = -111605,08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_y = -904156,2 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{111605,08^2 + 904156,2^2} = 911018,18 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 5742,33 * 47,89 = 275000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 911018,18)^2 + (1 * 275000)^2}} = 30,70 \text{ mm}$$

3. abiadura →

Datuak:

$$U_{hk} = 3828,48 \text{ N} \quad U_3 = 4494,20 \text{ N}$$

$$F_{r_{hk}} = 1393,45 \text{ N} \quad F_{r_3} = 1635,75 \text{ N}$$

$$F_{a_{hk}} = 1393,45 \text{ N} \quad F_{a_3} = 1635,75 \text{ N}$$

$$R_{hk} = 71,83 \text{ mm} \quad R_3 = 61,19 \text{ mm}$$

$$a = 56 \text{ mm} \quad b = 226 \text{ mm} \quad c = 468 \text{ mm}$$

Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} - F_{a_3} + F_{a_{hk}} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = F_{r_{hk}} + F_{r_3}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_{hk} + U_3$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (b + c) + F_{a_3} * R_3 - F_{a_{hk}} * R_{hk} = F_{r_{hk}} * (a + b + c) + F_{r_3} * c$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (b + c) = U_{hk} * (a + b + c) - U_3 * c$$

Beraz:

$$R_{Az} = 1106,73 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 242,3 \text{ N}$$

$$R_{By} = 420,24 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 2608,96 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = -1772,45 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzea. Momentu bihurtzailea motorrak sortuko duena izango da ez baita aldaketarik izango abiadura kaxan. Momentu makurtzailea, aldiz, kalkulatu egin beharko da.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = F_{a_3} * R_3 - R_{By} * c$$

$$M_y = R_{Bz} * c$$

Beraz:

$$M_z = -96580,78 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_y = -829506,6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{96580,78^2 + 829506,6^2} = 835110,20 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 4494,20 * 61,19 = 275000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 835110,20)^2 + (1 * 275000)^2}} = 29,86 \text{ mm}$$

4. abiadura →

Datuak:

$$U_{hk} = 3828,48 \text{ N} \quad U_4 = 3975,71 \text{ N}$$

$$F_{rhc} = 1393,45 \text{ N} \quad F_{r4} = 1447,04 \text{ N}$$

$$F_{ahc} = 1393,45 \text{ N} \quad F_{a4} = 1447,04 \text{ N}$$

$$R_{hk} = 71,83 \text{ mm} \quad R_4 = 69,17 \text{ mm}$$

$$a = 56 \text{ mm} \quad b = 342 \text{ mm} \quad c = 352 \text{ mm}$$

Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} - F_{a4} + F_{ahc} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = F_{rhc} + F_{r4}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_{hk} + U_4$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (b + c) + F_{a4} * R_4 - F_{ahc} * R_{hk} = F_{rhc} * (a + b + c) + F_{r4} * c$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (b + c) = U_{hk} * (a + b + c) - U_4 * c$$

Beraz:

$$R_{Az} = 2120,91 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 53,59 \text{ N}$$

$$R_{By} = 600,66 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 2239,83 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = -2268,14 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzeko. Momentu bihurtzailea motorrak sortuko duena izango da ez baita aldaketarik izango abiadura kaxan. Momentu makurtzailea, aldiz, kalkulatu egin beharko da.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = F_{a4} * R_4 - R_{By} * c$$

$$M_y = R_{Bz} * c$$

Beraz:

$$M_z = -111340,46 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_y = -798385,28 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{111340,46^2 + 798385,28^2} = 806111,50 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 3975,71 * 69,17 = 275000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 806111,50)^2 + (1 * 275000)^2}} = 29,53 \text{ mm}$$

5. abiadura →

Datuak:

$$U_{hk} = 3828,48 \text{ N} \quad U_5 = 3564,48 \text{ N}$$

$$F_{rhc} = 1393,45 \text{ N} \quad F_{r5} = 1297,36 \text{ N}$$

$$F_{ahc} = 1393,45 \text{ N} \quad F_{a5} = 1297,36 \text{ N}$$

$$R_{hk} = 71,83 \text{ mm} \quad R_5 = 77,15 \text{ mm}$$

$$a = 56 \text{ mm} \quad b = 396 \text{ mm} \quad c = 298 \text{ mm}$$

Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} - F_{a5} + F_{ahk} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = F_{rhk} + F_{r5}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_{hk} + U_5$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (b + c) + F_{a5} * R_5 - F_{ahk} * R_{hk} = F_{rhk} * (a + b + c) + F_{r5} * c$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (b + c) = U_{hk} * (a + b + c) - U_5 * c$$

Beraz:

$$R_{Az} = 2606,75 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = -96,09 \text{ N}$$

$$R_{By} = 627,84 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 2062,97 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = -2342,95 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzeko. Momentu bihurtzailea motorrak sortuko duena izango da ez baita aldaketarik izango abiadura kaxan. Momentu makurtzailea, aldiz, kalkulatu egin beharko da.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = F_{a5} * R_5 - R_{By} * c$$

$$M_y = R_{Bz} * c$$

Beraz:

$$M_z = -87005 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_y = -698199,1 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{87005^2 + 698199,1^2} = 703599,21 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 3564,48 * 77,15 = 275000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 703599,21)^2 + (1 * 275000)^2}} = 28,29 \text{ mm}$$

6. abiadura →

Datuak:

$$U_{hk} = 3828,48 \text{ N} \quad U_6 = 3230,35 \text{ N}$$

$$F_{r hk} = 1393,45 \text{ N} \quad F_{r6} = 1175,75 \text{ N}$$

$$F_{a hk} = 1393,45 \text{ N} \quad F_{a6} = 1175,75 \text{ N}$$

$$R_{hk} = 71,83 \text{ mm} \quad R_6 = 85,13 \text{ mm}$$

$$a = 56 \text{ mm} \quad b = 512 \text{ mm} \quad c = 182 \text{ mm}$$

Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} - F_{a6} + F_{a hk} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = F_{r hk} + F_{r6}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_{hk} + U_6$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (b + c) + F_{a6} * R_6 - F_{a hk} * R_{hk} = F_{r hk} * (a + b + c) + F_{r6} * c$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (b + c) = U_{hk} * (a + b + c) - U_6 * c$$

Beraz:

$$R_{Az} = 3290,25 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = -217,7 \text{ N}$$

$$R_{By} = 754,97 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 1814,23 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = -2692,12 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzeko. Momentu bihurtzailea motorrak sortuko duena izango da ez baita aldaketarik izango abiadura kaxan. Momentu makurtzailea, aldiz, kalkulatu egin beharko da.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = F_{a1} * R_6 - R_{By} * c$$

$$M_y = R_{Bz} * c$$

Beraz:

$$M_z = -37312,94 \text{ N.mm}$$

$$M_y = -489965,84 \text{ N.mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{37312,94^2 + 489965,84^2} = 491384,55 \text{ N.mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 3230,35 * 85,13 = 275000 \text{ N.mm}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 491384,55)^2 + (1 * 275000)^2}} = 25,37 \text{ mm}$$

Atzerako martxa →

Datuak:

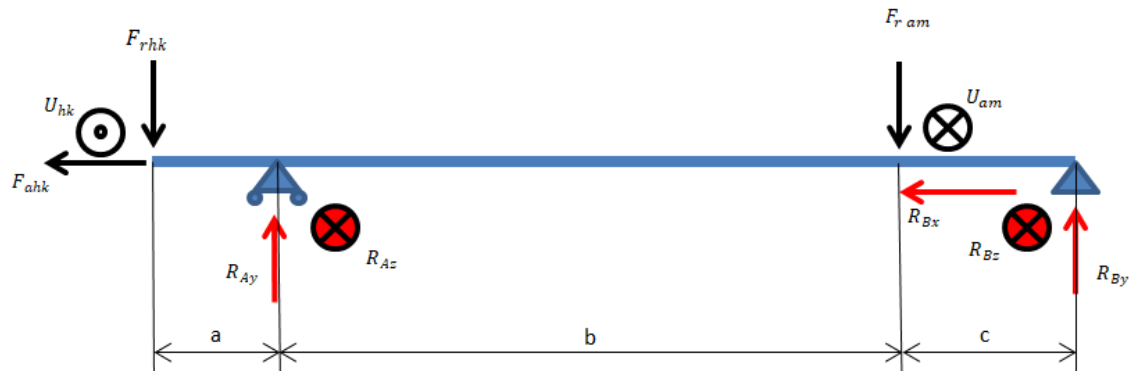
$$U_{hk} = 3828,48 \text{ N} \quad U_{am} = 9166,67 \text{ N}$$

$$F_{rhc} = 1393,45 \text{ N} \quad F_{ram} = 3336,39 \text{ N}$$

$$F_{ahc} = 1393,45 \text{ N}$$

$$R_{hk} = 71,83 \text{ mm}$$

$$a = 56 \text{ mm} \quad b = 566 \text{ mm} \quad c = 128 \text{ mm}$$



Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} = -F_{ahk}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = F_{rhk} + F_{ram}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_{hk} - U_{am}$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (b + c) - F_{ahk} * R_{hk} = F_{rhk} * (a + b + c) + F_{ram} * c$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (b + c) = U_{hk} * (a + b + c) - U_{am} * c$$

Beraz:

$$R_{Az} = 2446,72 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = -1393,45 \text{ N}$$

$$R_{By} = 2464,37 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 2265,47 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = -7784,91 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzeko. Momentu bihurtzailea motorrak sortuko duena izango da ez baita aldaketarik izango abiadura kaxan. Momentu makurtzailea, aldiz, kalkulatu egin beharko da.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = R_{By} * c$$

$$M_y = R_{Bz} * c$$

Beraz:

$$M_z = 315439,36 \text{ N.mm}$$

$$M_y = -996468,48 \text{ N.mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{315439,36^2 + 996468,48^2} = 1045204 \text{ N.mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 9166,67 * 30 = 275000 \text{ N.mm}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 1045204)^2 + (1 * 275000)^2}} = 25,99 \text{ mm}$$

3.4.3.3. Ardatz sekundarioa

Ardatz honen diametro minimoak kalkulatzeko ere ASME kodigoa erabiliko da. Prozesua berdina izango da.

1. abiadura →

Datuak:

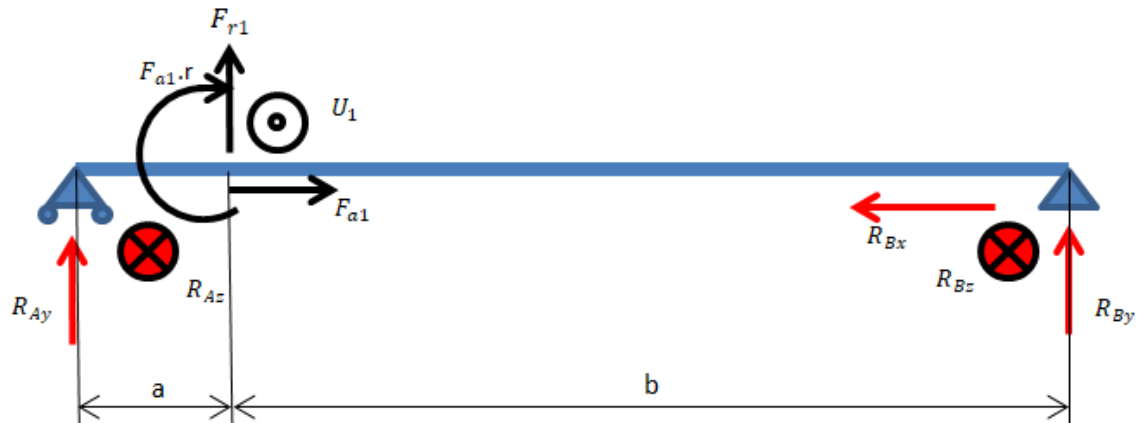
$$U_1 = 8612,59 \text{ N}$$

$$F_{r1} = 3134,73 \text{ N}$$

$$F_{a1} = 3134,73 \text{ N}$$

$$R_1 = 111,74 \text{ mm}$$

$$a = 56 \text{ mm} \quad b = 638 \text{ mm}$$



Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} - F_{a1} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = - F_{r1}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_1$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (a + b) + F_{a1} * R_1 + F_{r1} * b = 0$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (a + b) = U_1 * b$$

Beraz:

$$R_{Az} = 7917,62 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 3134,73 \text{ N}$$

$$R_{By} = 251,77 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = - 3386,50 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = 694,97 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzeko. Momentu makurtzailea tarteko ardatzarekin definitu den bezala kalkulatu da. Momentu bihurtzaileari dagokionez, kasu honetan kontuan izan beharko dira engranajeen diametroak.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = F_{a1} * R_1 - R_{By} * b$$

$$M_y = R_{Bz} * b$$

Beraz:

$$M_z = 189645,47 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_y = 443390,86 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{189645,47^2 + 443390,86^2} = 482245,64 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 8612,59 * 111,74 = 962370,80 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 482245,64)^2 + (1 * 962370,80)^2}} = 29,24 \text{ mm}$$

2. abiadura →

Datuak:

$$U_2 = 5742,33 \text{ N}$$

$$F_{r2} = 2090,04 \text{ N}$$

$$F_{a2} = 2090,04 \text{ N}$$

$$R_2 = 95,77 \text{ mm}$$

$$a = 172 \text{ mm} \quad b = 522 \text{ mm}$$

Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} - F_{a2} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = - F_{r2}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_2$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (a + b) + F_{a2} * R_2 + F_{r2} * b = 0$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (a + b) = U_2 * b$$

Beraz:

$$R_{Az} = 4319,16 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 2090,04 \text{ N}$$

$$R_{By} = -229,57 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = -1860,47 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = 1423,17 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzeko. Momentu makurtzailea tarteko ardatzarekin definitu den bezala kalkulatu da. Momentu bihurtzaileari dagokionez, kasu honetan kontuan izan beharko dira engranajeen diametroak.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = F_{a2} * R_2 - R_{By} * b$$

$$M_y = R_{Bz} * b$$

Beraz:

$$M_z = 319998,67 \text{ N.mm}$$

$$M_y = 742894,74 \text{ N.mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{319998,67^2 + 742894,74^2} = 808883,02 \text{ N.mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 5742,33 * 95,77 = 549942,94 \text{ N.m}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 808883,02)^2 + (1 * 549942,94)^2}} = 30,24 \text{ mm}$$

3. abiadura →

Datuak:

$$U_3 = 4494,20 \text{ N}$$

$$F_{r3} = 1635,75 \text{ N}$$

$$F_{a3} = 1635,75 \text{ N}$$

$$R_3 = 82,47 \text{ mm}$$

$$a = 226 \text{ mm} \quad b = 468 \text{ mm}$$

Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} - F_{a3} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = - F_{r3}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_3$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (a + b) + F_{a3} * R_3 + F_{r3} * b = 0$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (a + b) = U_3 * b$$

Beraz:

$$R_{Az} = 3030,67 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 1635,75 \text{ N}$$

$$R_{By} = - 338,3 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = - 1297,45 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = 1463,53 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzeko. Momentu makurtzailea tarteko ardatzarekin definitu den bezala kalkulatu da. Momentu

bihurtzaileari dagokionez, kasu honetan kontuan izan beharko dira engranajeen diametroak.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = F_{a3} * R_3 - R_{By} * b$$

$$M_y = R_{Bz} * b$$

Beraz:

$$M_z = 293224,70 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_y = 684932,04 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{293224,70^2 + 684932,04^2} = 745058,80 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 4494,20 * 82,47 = 370636,67 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 745058,80)^2 + (1 * 370636,67)^2}} = 29,02 \text{ mm}$$

4. abiadura →

Datuak:

$$U_4 = 3975,71 \text{ N}$$

$$F_{r4} = 1447,04 \text{ N}$$

$$F_{a4} = 1447,04 \text{ N}$$

$$R_4 = 74,50 \text{ mm}$$

$$a = 342 \text{ mm} \quad b = 352 \text{ mm}$$

Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} - F_{a4} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = - F_{r4}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_4$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (a + b) + F_{a4} * R_4 + F_{r4} * b = 0$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (a + b) = U_4 * b$$

Beraz:

$$R_{Az} = 2016,50 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 1447,04 \text{ N}$$

$$R_{By} = -557,76 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = -889,28 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = 1959,21 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzeko. Momentu makurtzailea tarteko ardatzarekin definitu den bezala kalkulatu da. Momentu bihurtzaileari dagokionez, kasu honetan kontuan izan beharko dira engranajeen diametroak.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = F_{a4} * R_4 - R_{By} * b$$

$$M_y = R_{Bz} * b$$

Beraz:

$$M_z = 304136 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_y = 689641,92 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{304136^2 + 689641,92^2} = 753727,19 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 3975,71 * 74,50 = 296190,39 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 753727,19)^2 + (1 * 296190,39)^2}} = 28,95 \text{ mm}$$

5. abiadura →

Datuak:

$$U_5 = 3564,48 \text{ N}$$

$$F_{r5} = 1297,36 \text{ N}$$

$$F_{a5} = 1297,36 \text{ N}$$

$$R_5 = 66,50 \text{ mm}$$

$$a = 396 \text{ mm} \quad b = 298 \text{ mm}$$

Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} - F_{a5} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = - F_{r5}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_5$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (a + b) + F_{a5} * R_5 + F_{r5} * b = 0$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (a + b) = U_5 * b$$

Beraz:

$$R_{Az} = 1530,57 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 1297,36 \text{ N}$$

$$R_{By} = - 615,97 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = - 681,39 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = 2033,91 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzeko. Momentu makurtzailea tarteko ardatzarekin definitu den bezala kalkulatu da. Momentu

bihurtzaileari dagokionez, kasu honetan kontuan izan beharko dira engranajeen diametroak.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = F_{a5} * R_5 - R_{By} * b$$

$$M_y = R_{Bz} * b$$

Beraz:

$$M_z = 269833,50 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_y = 606105,18 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{269833,50^2 + 606105,18^2} = 663455,80 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 3564,48 * 66,50 = 237037,92 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 663455,80)^2 + (1 * 237037,92)^2}} = 27,70 \text{ mm}$$

6. abiadura →

Datuak:

$$U_6 = 3230,35 \text{ N}$$

$$F_{r6} = 1175,75 \text{ N}$$

$$F_{a6} = 1175,75 \text{ N}$$

$$R_6 = 58,53 \text{ mm}$$

$$a = 512 \text{ mm} \quad b = 182 \text{ mm}$$

Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} - F_{a6} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = - F_{r6}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_6$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (a + b) + F_{a6} * R_6 + F_{r6} * b = 0$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (a + b) = U_6 * b$$

Beraz:

$$R_{Az} = 847,152 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 1175,75 \text{ N}$$

$$R_{By} = -768,25 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = -407,50 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = 2383,20 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzeko. Momentu makurtzailea tarteko ardatzarekin definitu den bezala kalkulatu da. Momentu bihurtzaileari dagokionez, kasu honetan kontuan izan beharko dira engranajeen diametroak.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = F_{a1} * R_6 - R_{By} * b$$

$$M_y = R_{Bz} * b$$

Beraz:

$$M_z = 208638,15 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_y = 433742,4 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{208638,15^2 + 433742,4^2} = 481313,15 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 3230,35 * 58,53 = 189072,38 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 481313,15)^2 + (1 * 189072,38)^2}} = 24,93 \text{ mm}$$

Atzerako martxa →

Datuak:

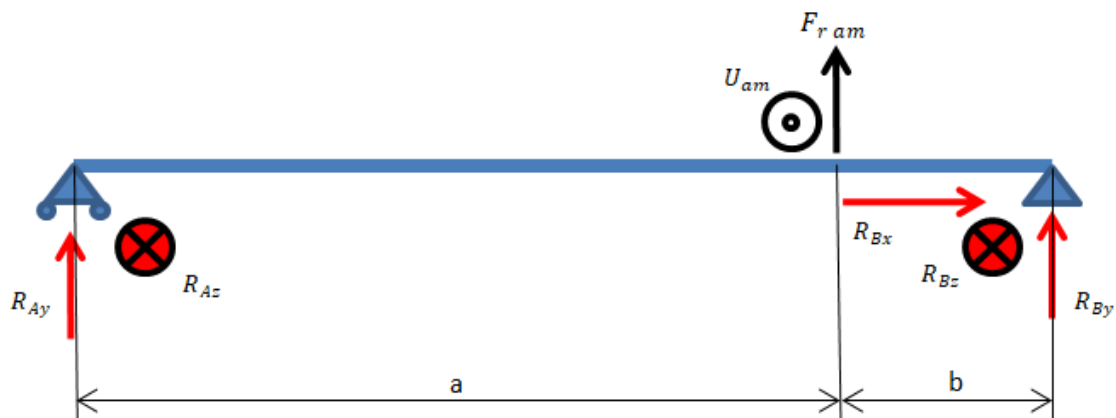
$$U_{am} = 9166,67 \text{ N}$$

$$F_{ram} = 3336,39 \text{ N}$$

$$F_{a\ am} = 0 \text{ N}$$

$$R_{am} = 100 \text{ mm}$$

$$a = 566 \text{ mm} \quad b = 128 \text{ mm}$$



Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = - F_{ram}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_{am}$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (a + b) + F_{ram} * b = 0$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (a + b) = U_{am} * b$$

Beraz:

$$R_{Az} = 1690,68 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 0 \text{ N}$$

$$R_{By} = - 2721,03 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = - 615,36 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = 7475,99 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzeko. Momentu makurtzailea tarteko ardatzarekin definitu den bezala kalkulatu da. Momentu bihurtzaileari dagokionez, kasu honetan kontuan izan beharko dira engranajeen diametroak.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = F_{a\ am} * R_{am} - R_{By} * b$$

$$M_y = R_{Bz} * b$$

Beraz:

$$M_z = 348291,84 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_y = 956926,72 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{348291,84^2 + 956926,72^2} = 1018339,80 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 9166,67 * 100 = 916667 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 1018339,80)^2 + (1 * 916667)^2}} = 24,98 \text{ mm}$$

Behin tarteko ardatzak eta ardatz sekundarioak behar izango dituzten sekzio minimoak kalkulatu, diametro horiek normalizatu egingo dira. Era honetan:

Tarteko ardatzeko sekzioak (mm)						
$\emptyset_1 = 28$	$\emptyset_2 = 31$	$\emptyset_3 = 30$	$\emptyset_4 = 30$	$\emptyset_5 = 29$	$\emptyset_6 = 26$	$\emptyset_{am} = 26$

Ardatz sekundarioko sekzioak (mm)						
$\emptyset_1 = 30$	$\emptyset_2 = 32$	$\emptyset_3 = 30$	$\emptyset_4 = 30$	$\emptyset_5 = 28$	$\emptyset_6 = 25$	$\emptyset_{am} = 25$

Ikus daitekeen bezala, tarteko ardatzeko eta ardatz sekundarioko sekzioen diametroak unitateetara borobildu dira era kontserbakorrean jokatzuz (beti gorantz borobildu dira sekzioak kalkulaturako erreakzioak eusteko gai izan daitezzen). Halere, badago ezberdintasun bat ardatz baten eta bestean jarraitutako irizpideekin. Izan ere, tarteko ardatzean engranajeak ildoen gainean kokatuko diren bitartean, ardatz sekundarioan engranajeak errodamenduen bidez finkatuko dira. Era honetan, engranajeen barne diametroa eta sekzioen kanpo diametroa berdinak izan behar direnez, SKF etxearen katalogoa aintzat hartuta egin da dimentsionamendua.

3.4.3.4. Atzerako martxaren ardatza

Ardatz honen diametro minimoak kalkulatzeko ere ASME kodigoa erabiliko da. Prozesua berdina izango da.

Datuak:

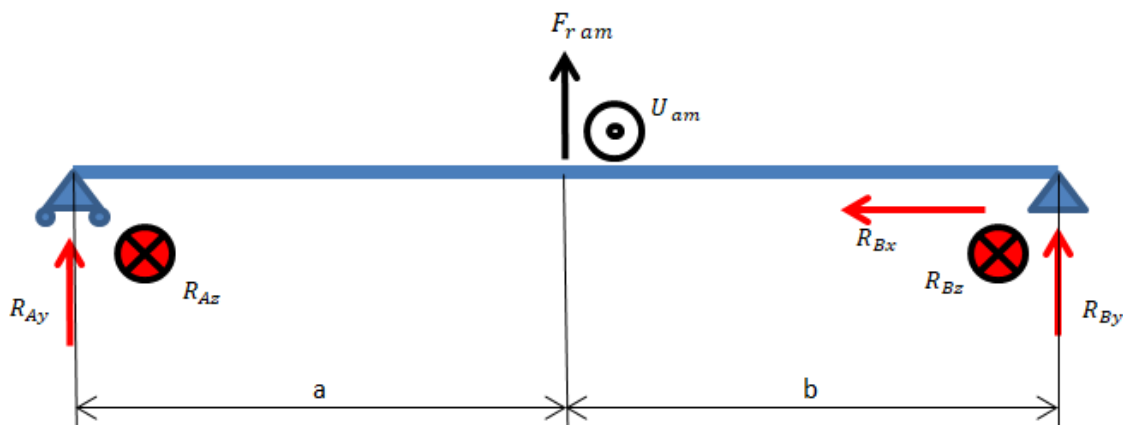
$$U_{am} = 9166,67 \text{ N}$$

$$F_{ram} = 3336,39 \text{ N}$$

$$F_{aam} = 0 \text{ N}$$

$$R_{am} = 30 \text{ mm}$$

$$a = 70 \text{ mm} \quad b = 70 \text{ mm}$$



Oreka estatikoa planteatuz:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} = - F_{ram}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow R_{Az} + R_{Bz} = U_{am}$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow R_{Ay} * (a + b) + F_{ram} * b = 0$$

$$\sum M_{By} = 0 \rightarrow R_{Az} * (a + b) = U_{am} * b$$

Beraz:

$$R_{Az} = 4583,33 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 0 \text{ N}$$

$$R_{By} = -1668,20 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = -1668,20 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = 4583,33 \text{ N}$$

ASME kodigoa aplikatzeko beharrezkoa da momentuak kalkulatzeko. Momentu makurtzailea tarteko ardatzarekin definitu den bezala kalkulatu da. Momentu bihurtzaileari dagokionez, kasu honetan kontuan izan beharko dira engranajeen diametroak.

Momentu makurtzailea:

$$M_z = R_{By} * b$$

$$M_y = R_{Bz} * b$$

Beraz:

$$M_z = 116774 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_y = 320833,8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} = \sqrt{116774^2 + 320833,8^2} = 341424,22 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Momentu bihurtzailea:

$$T = U * R = 9166,67 * 30 = 275000,1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * CS}{\pi * \sigma_s} * \sqrt{(1,5 * M)^2 + (1 * T)^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi * 981} * \sqrt{(1,5 * 341424,22)^2 + (1 * 275000,1)^2}} = 22,94 \text{ mm}$$

Kalkuluen emaitzak ikusita, atzerako martxaren ardatzarentzako 25 mm-ko diametroa aukeratu da.

3.4.4. Errodamenduen kalkulua

Aurreko atalean euskarrietan sortzen diren indarrak kalkulatu dira. Indar hauek errodamenduek jasan beharko dituzten kargak dira engranajeak kontaktuan daudenean. Ikus daitekeen bezala, errodamenduek karga axialak eta erradialak jasan beharko dituzte.

3.4.4.1. Tarteko ardatza

Tarteko ardatzak bi errodamendu ditu, bata A euskarrian eta bestea B euskarrian. Errodamenduak nekera kalkulatu dira, eta prozesu horretan errodamenduak finkatuko diren puntuetan (A eta B euskarriak) sortzen diren indarrak hartuko dira kontuan.

Erreakzioak:

Abiadura	Indar erradiala A (N)	Indar erradiala B (N)	Indar axiala (N)
1	5791,52	1013,68	1741,28
2	3083,30	1778,94	696,59
3	2833,99	1821,58	242,3
4	3084,65	2346,33	53,59
5	3324,30	2425,61	96,09
6	3757,28	2795,98	217,7
Atzerako martxa	3334,48	8165,65	1393,45

Diseinu baldintzak direla eta, A euskarrian (karga erradialak) arrabola zilindrikodun errodamendu bat erabiliko da eta B euskarrian (karga erradialak + axialak) boladun errodamendu bat.

3.4.4.1.1. A euskarriko errodamendua

Soilik karga erradiala jasan behar du errodamenduak. Hortaz, arrabola zilindrikodun errodamendu bat erabiliko da.

Karga baliokidea kalkulatzeko Makinen Diseinuko apunteetan datorren formula erabiliko da:

$$F = \sqrt[3]{F_1^3 * \frac{q_1}{100} + F_2^3 * \frac{q_2}{100} + F_3^3 * \frac{q_3}{100} + F_4^3 * \frac{q_4}{100} + F_5^3 * \frac{q_5}{100} + F_6^3 * \frac{q_6}{100} + F_{am}^3 * \frac{q_{am}}{100}}$$

Non:

F_i = Abiadura bakoitzeko indarra

q = Funtzionamendu orduen ehunekoa

$$F_b = X * V * F_R + Y * F_a$$

$$F_b = C_s * F_b$$

Goian aipatu den bezala A euskarrian ez dago karga axialik, beraz: $X = 1$ eta $Y = 0$. V parametroari dagokionez, 1 balioa izango du barne eraztuna baitabil biraka. Horretaz gain, segurtasun koefiziente bat ($CS = 1,2$) erabiliko da kargak handitzeko.

$$F_{b1} = 1 \cdot 1 \cdot 5791,52 + Y \cdot 0 \rightarrow 1,2 \cdot 5791,52 = 6949,82 \text{ N} = 6,95 \text{ KN}$$

$$F_{b2} = 1 \cdot 1 \cdot 3083,30 + Y \cdot 0 \rightarrow 1,2 \cdot 3083,30 = 3699,96 \text{ N} = 3,70 \text{ KN}$$

$$F_{b3} = 1 \cdot 1 \cdot 2833,99 + Y \cdot 0 \rightarrow 1,2 \cdot 2833,99 = 3400,79 \text{ N} = 3,40 \text{ KN}$$

$$F_{b4} = 1 \cdot 1 \cdot 3084,65 + Y \cdot 0 \rightarrow 1,2 \cdot 3084,65 = 3701,58 \text{ N} = 3,70 \text{ KN}$$

$$F_{b5} = 1 \cdot 1 \cdot 3324,30 + Y \cdot 0 \rightarrow 1,2 \cdot 3324,30 = 3989,16 \text{ N} = 3,99 \text{ KN}$$

$$F_{b6} = 1 \cdot 1 \cdot 3757,28 + Y \cdot 0 \rightarrow 1,2 \cdot 3757,28 = 4808,74 \text{ N} = 4,81 \text{ KN}$$

$$F_{bam} = 1 \cdot 1 \cdot 3334,48 + Y \cdot 0 \rightarrow 1,2 \cdot 3334,48 = 4001,38 \text{ N} = 4 \text{ KN}$$

Abiadura bakoitzari iraupen zehatz bat ezarri zaio eta alderdi hori kontuan izango da errodamenduen aukeraketan.

Abiadura	Iraupena (h)	Ehunekoa (%)
1	400	8
2	1100	22
3	1100	22
4	1100	22
5	900	18
6	250	5
Atzerako Martxa	150	3

Dena horrela:

$$F = \sqrt[3]{6,95^3 * \frac{8}{100} + 3,70^3 * \frac{22}{100} + 3,40^3 * \frac{22}{100} + 3,70^3 * \frac{22}{100} + 3,99^3 * \frac{18}{100} + 4,81^3 * \frac{5}{100} + 4^3 * \frac{3}{100}}$$

$$F = 4,25 \text{ KN}$$

Errodamenduek 5000 orduko iraupena izango dutela suposatuta, eta ardatzaren biraketa abiadura 3000 bira minutuko dela. Fidagarritasuna, berriz, % 90ekoa definituta da.

$$L = 5000 \text{ h} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{3000 \text{ bira}}{1 \text{ min}} = 0,9 * 10^9 \text{ bira}$$

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

$$L_{10} = \frac{0,9 * 10^9}{0,02 + 4,439 * \left[\ln \left(\frac{1}{0,90} \right) \right]^{\frac{1}{1,483}}} = 906,03 * 10^6$$

Karga baliokidea eta bizitza nominala izanda ahalmen dinamikoa kalkulatu daiteke formula hau erabilita:

$$C = F * (L_{10})^{\frac{1}{a}}$$

- Errodamendu zilindrikoak $\rightarrow a = 10/3$
- Boladun errodamenduak $\rightarrow a = 3$

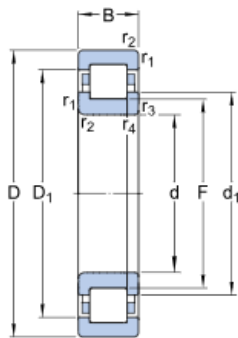
Hortaz,

$$C = 4,25 * (906,03)^{\frac{3}{10}} = 32,77 \text{ KN}$$

Behin karga ahalmen dinamikoa (C) eta diametroa jakinda, SKF etxearen arrabola zilindrikodun errodamenduen katalogoari erreparatuko zaio baldintza horiek betetzen dituen errodamendua aukeratzeko asmoz:

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Designación
d	D	B	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite	
mm			kN		kN	r/min		
25	62	24	64	55	6.95	12000	22000	▶ NU 2305 ECML
25	52	18	39	34	4.25	15000	16000	▶ NU 2205 ECP
25	52	15	32.5	27	3.35	15000	16000	▶ NJ 205 ECPH
25	62	17	46.5	36.5	4.55	12000	15000	▶ N 305 ECP
25	62	17	46.5	36.5	4.55	12000	15000	▶ NUP 305 ECP
25	62	17	46.5	36.5	4.55	12000	15000	▶ NUP 305 ECJ
25	52	15	32.5	27	3.35	15000	16000	▶ N 205 ECP
25	52	15	32.5	27	3.35	15000	26000	▶ NJ 205 ECML
25	62	24	64	55	6.95	12000	15000	▶ NU 2305 ECP
25	62	24	64	55	6.95	12000	15000	▶ NU 2305 ECJ
25	62	24	64	55	6.95	12000	15000	▶ NJ 2305 ECP

Goiko irudian ikus daitekeen bezala, NUP 305 ECP errodamendua da baldintzak betetzen dituen. Bere ezaugarriak:



d	25	mm
D	62	mm
B	17	mm
d ₁	≈ 38.1	mm
D ₁	≈ 50.15	mm
F	34	mm
r _{1,2}	min. 1.1	mm
r _{3,4}	min. 1.1	mm

Hortaz, erdiko ardatzaren A euskarrian NUP 305 ECP arrabola zilindrikodun errodamendua jarriko da.

3.4.4.1.2. B euskarriko errodamendua

B euskarrian jarriko den errodamendua karga erradialez gain karga axialak ere jasan beharko dituen bertan boladun errodamendua jartzea erabaki da.

Boladun errodamenduen kalkulurako iterazioetan oinarritzen den prozesu bat erabiltzen da. Makinen Diseinuko liburuan datorren taula erabiliko da *e*, *X* eta *Y* faktoreak definitzeko. Hasierako balioak ondokoak izango dira:

- $e = 0,27$
- $\frac{F_r}{F_a} > e \rightarrow X = 0,56 \text{ eta } Y = 1.63$

- $\frac{F_r}{F_a} \leq e \rightarrow X = 1 \text{ eta } Y = 0$

F _a /C ₀	e	F _a /(VF _r) ≤ e		F _a /(VF _r) > e	
		X	Y	X	Y
0.014*	0.19	1	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1	0	0.56	1.71
0.07	0.27	1	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1	0	0.56	1.55
0.11	0.30	1	0	0.56	1.45
0.17	0.34	1	0	0.56	1.31
0.28	0.38	1	0	0.56	1.15
0.42	0.42	1	0	0.56	1.04
0.56	0.44	1	0	0.56	1

*Usar 0.014 si F_a/C₀ < 0.014

A euskarriko errodamenduaren kalkuluetan egin den bezala, kasu honetan ere segurtasun koefiziente bat (CS = 1,2) erabiliko da. Beraz:

$$F_e = X * V * F_R + Y * F_a$$

1. abiadura →

$$\frac{F_{a1}}{F_{r1}} = \frac{1741,28}{1013,68} = 1,72 > 0,27$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 1,63$$

$$F_{b1} = 0,56 * 1 * 1013,68 + 1,63 * 1741,28 \rightarrow 1,2 * 3405,95 = 4087,14 \text{ N} = 4,09 \text{ KN}$$

2. abiadura →

$$\frac{F_{a2}}{F_{r2}} = \frac{696,59}{1778,94} = 0,39 > 0,27$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 1,63$$

$$F_{b2} = 0,56 * 1 * 1778,94 + 1,63 * 696,59 \rightarrow 1,2 * 2131,65 = 2557,98 \text{ N} = 2,56 \text{ KN}$$

3. abiadura →

$$\frac{F_{a3}}{F_{r3}} = \frac{242,3}{1821,58} = 0,13 < 0,27$$

$$X = 1 \text{ eta } Y = 0$$

$$F_{b3} = 1 * 1 * 1821,58 + 0 * 242,3 \rightarrow 1,2 * 1821,58 = 2185,90 \text{ N} = 2,19 \text{ KN}$$

4. abiadura →

$$\frac{F_{a4}}{F_{r4}} = \frac{53,59}{2346,33} = 0,02 < 0,27$$

$$X = 1 \text{ eta } Y = 0$$

$$F_{b4} = 1 * 1 * 2346,33 + 0 * 53,59 \rightarrow 1,2 * 2346,33 = 2815,60 \text{ N} = 2,81 \text{ KN}$$

5. abiadura →

$$\frac{F_{a5}}{F_{r5}} = \frac{96,09}{2425,61} = 0,04 < 0,27$$

$$X = 1 \text{ eta } Y = 0$$

$$F_{b5} = 1 * 1 * 2425,61 + 0 * 96,09 \rightarrow 1,2 * 2425,61 = 2910,73 \text{ N} = 2,91 \text{ KN}$$

6. abiadura →

$$\frac{F_{a6}}{F_{r6}} = \frac{217,7}{2795,98} = 0,08 < 0,27$$

$$X = 1 \text{ eta } Y = 0$$

$$F_{b6} = 1 * 1 * 2795,98 + 0 * 217,7 \rightarrow 1,2 * 2795,98 = 3355,78 \text{ N} = 3,36 \text{ KN}$$

Atzerako martxa →

$$\frac{F_{a am}}{F_{r am}} = \frac{1393,45}{8165,65} = 0,17 < 0,27$$

$$X = 1 \text{ eta } Y = 0$$

$$F_{b am} = 1 * 1 * 8165,65 + 0 * 1393,45 \rightarrow 1,2 * 8165,65 = 9798,78 \text{ N} = 9,80 \text{ KN}$$

Karga baliokidea:

$$F = \sqrt[3]{4,09^3 * \frac{8}{100} + 2,56^3 * \frac{22}{100} + 2,19^3 * \frac{22}{100} + 2,81^3 * \frac{22}{100} + 2,91^3 * \frac{18}{100} + 3,36^3 * \frac{5}{100} + 9,80^3 * \frac{3}{100}}$$

$$F = 3,70 \text{ KN}$$

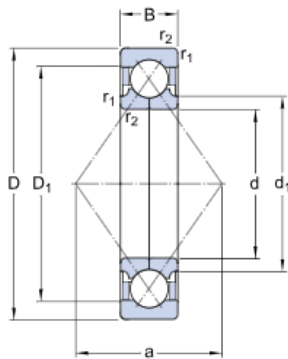
Karga dinamikoa:

$$C = F * (L_{10})^{\frac{1}{a}} = 3,70 * (906,03)^{\frac{1}{3}} = 35,80 \text{ KN}$$

Lehen egin bezala, karga ahalmen dinamikoa eta diametroa ezagututa SKF etxearen boladun errodamenduen katalogora joko da.

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales	Designación
d	D	B	C	C ₀	P _u	Velocidad límite	
mm			kN		kN	r/min	
25	52	15	27	21.2	0.9	22000	QJ 205 MA
25	62	17	42.5	30	1.27	20000	QJ 305 MA
25	62	17	42.5	30	1.27	20000	QJ 305 N2MA
25	52	15	27	21.2	0.9	22000	QJ 205 N2MA

Goiko irudian ikus daitekeen moduan QJ 305 MA da lehenbiziko iterazioan lortutako errodamendua. Bere ezaugarriak:



d	25	mm
D	62	mm
B	17	mm
d ₁	≈ 34	mm
D ₁	≈ 49	mm
a	30	mm
r _{1,2}	min. 1.1	mm

Jarraian errodamendu hori bete beharrek baldintzak betetzeko aproposa den ala ez konprobatuko da X-en eta Y-ren benetako balioak kalkulatu. Horretarako goian erakutsi den taula erabiliko da eta interpolazioak burutuko dira balio errealak kalkulatzeko.

1. abiadura →

$$\frac{F_{a1}}{C_0} = \frac{1741,28}{30000} = 0,06 \rightarrow \text{Interpolatuz:}$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 1,77$$

$$F_{b1} = 0,56 * 1 * 1013,68 + 1,77 * 1741,28 \rightarrow 1,2 * 3649,73 = 4379,67 \text{ N} = 4,38 \text{ KN}$$

2. abiadura →

$$\frac{F_{a2}}{C_0} = \frac{696,59}{30000} = 0,02 \rightarrow \text{Interpolatuz:}$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 2,12$$

$$F_{b2} = 0,56 * 1 * 1778,94 + 2,12 * 696,59 \rightarrow 1,2 * 2472,98 = 2967,57 \text{ N} = 2,97 \text{ KN}$$

3. abiadura →

$$\frac{F_{a3}}{C_0} = \frac{242,3}{30000} = 0,01$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 2,30$$

$$F_{b3} = 0,56 * 1 * 1821,58 + 2,30 * 242,3 \rightarrow 1,2 * 1577,34 = 1892,85 \text{ N} = 1,90 \text{ KN}$$

4. abiadura \rightarrow

$$\frac{F_{a4}}{C_0} = \frac{53,59}{30000} = 0,01$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 2,30$$

$$F_{b4} = 0,56 * 1 * 2346,33 + 2,30 * 53,59 \rightarrow 1,2 * 1437,20 = 1724,64 \text{ N} = 1,72 \text{ KN}$$

5. abiadura \rightarrow

$$\frac{F_{a5}}{C_0} = \frac{96,09}{30000} = 0,01$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 2,30$$

$$F_{b5} = 0,56 * 1 * 2425,61 + 2,30 * 96,09 \rightarrow 1,2 * 1579,35 = 1895,22 \text{ N} = 1,90 \text{ KN}$$

6. abiadura \rightarrow

$$\frac{F_{a6}}{C_0} = \frac{217,7}{30000} = 0,01$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 2,30$$

$$F_{b6} = 0,56 * 1 * 2795,98 + 2,30 * 217,7 \rightarrow 1,2 * 2066,46 = 2479,75 \text{ N} = 2,48 \text{ KN}$$

Atzerako martxa \rightarrow

$$\frac{F_{a \text{ am}}}{C_0} = \frac{1393,45}{30000} = 0,05 \rightarrow \text{Interpolatuz:}$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 2,30$$

$$F_{b \text{ am}} = 0,56 * 1 * 8165,65 + 2,30 * 1393,45 \rightarrow 1,2 * 7777,70 = 9333,24 \text{ N} = 9,33 \text{ KN}$$

Karga baliokidea:

$$F = \sqrt[3]{4,38^3 * \frac{8}{100} + 2,97^3 * \frac{22}{100} + 1,90^3 * \frac{22}{100} + 1,72^3 * \frac{22}{100} + 1,90^3 * \frac{18}{100} + 2,48^3 * \frac{5}{100} + 9,33^3 * \frac{3}{100}}$$

$$F = 3,27 \text{ KN}$$

Karga dinamikoa:

$$C = F * (L_{10})^{\frac{1}{a}} = 3,27 * (906,03)^{\frac{1}{3}} = 31,64 \text{ KN}$$

Ikus daitekeenez, lortutako balioa aukeratutako errodamenduaren karga dinamikoaren balioaren azpitik dago eta, hortaz, aukeraketa egokia da.

3.4.4.2. Ardatz sekundarioa

Ardatz sekundarioa ere bi errodamenduk finkatzen dute, bata C euskarrikoa eta bestea D euskarrikoa. Hauek dira euskarri horietan sortuko diren erreakzio indarrak:

Abiadura	Karga erradiala C (N)	Karga erradiala D (N)	Karga axiala (N)
1	8611,45	739,17	3134,73
2	4702,82	1441,47	2090,04
3	3296,72	1502,12	1635,75
4	2203,88	2037,06	1447,04
5	1675,39	2125,14	1297,36
6	940,06	2503,97	1175,75
Atzerako martxa	1799,18	7955,78	0

3.4.4.2.1. C euskarriko errodamendua

A euskarrian gertatzen den bezala, C euskarrian soilik karga erradiala jasan behar du errodamenduak. Hortaz, egoera honetan aurretik egin den bezala, arrabola zilindrikodun errodamendu bat erabiliko da. Prozesua lehen jarraitu den berdina da. Karga baliokidea kalkulatu da lehenbizi, ondoren bizitza nominala, eta behin datu hauek izanda errodamenduaren karga dinamiko minimoa kalkulatu da.

$$F_b = X * V * F_R + Y * F_a$$

$$F_b = C_s * F_b$$

Goian aipatu den bezala A euskarrian ez dago karga axialik, beraz: $X = 1$ eta $Y = 0$. V parametroari dagokionez, 1 balioa izango du barne eraztuna baitabil biraka. Horretaz gain, segurtasun koefiziente bat ($CS = 1,2$) erabiliko da, kargak handitzeko.

$$F_{b1} = 1 \cdot 1 \cdot 8611,45 + Y \cdot 0 \rightarrow 1,2 \cdot 8611,45 = 10333,74 \text{ N} = 10,33 \text{ KN}$$

$$F_{b2} = 1 \cdot 1 \cdot 4702,82 + Y \cdot 0 \rightarrow 1,2 \cdot 4702,82 = 5643,38 \text{ N} = 5,64 \text{ KN}$$

$$F_{b3} = 1 \cdot 1 \cdot 3296,72 + Y \cdot 0 \rightarrow 1,2 \cdot 3296,72 = 3956,06 \text{ N} = 3,96 \text{ KN}$$

$$F_{b4} = 1 \cdot 1 \cdot 2203,88 + Y \cdot 0 \rightarrow 1,2 \cdot 2203,88 = 2644,65 \text{ N} = 2,64 \text{ KN}$$

$$F_{b5} = 1 \cdot 1 \cdot 1675,39 + Y \cdot 0 \rightarrow 1,2 \cdot 1675,39 = 2010,47 \text{ N} = 2,01 \text{ KN}$$

$$F_{b6} = 1 \cdot 1 \cdot 940,06 + Y \cdot 0 \rightarrow 1,2 \cdot 940,06 = 1128,07 \text{ N} = 1,13 \text{ KN}$$

$$F_{bam} = 1 \cdot 1 \cdot 1799,18 + Y \cdot 0 \rightarrow 1,2 \cdot 1799,18 = 2159,02 \text{ N} = 2,16 \text{ KN}$$

Abiadura bakoitzari iraupen zehatz bat ezarri zaio eta alderdi hori kontuan izan da errodamenduen aukeraketan.

Abiadura	Iraupena (h)	Ehunekoa (%)
1	400	8
2	1100	22
3	1100	22
4	1100	22
5	900	18
6	250	5
Atzerako Martxa	150	3

Dena horrela:

$$F = \sqrt[3]{10,33^3 \cdot \frac{8}{100} + 5,64^3 \cdot \frac{22}{100} + 3,96^3 \cdot \frac{22}{100} + 2,64^3 \cdot \frac{22}{100} + 2,01^3 \cdot \frac{18}{100} + 1,13^3 \cdot \frac{5}{100} + 2,16 \cdot \frac{3}{100}}$$

$$F = 5,28 \text{ KN}$$

Errodamenduaren bizitza erabilgarria abiadura bakoitzaren arabera da. Horregatik, errodamenduaren bizitza kalkulatu da abiadura bakoitzarentzat transmisio erlazioa kontuan hartuta:

$$L_1 = 400 \text{ h} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{1657 \text{ bira}}{1 \text{ min}} = 39,77 \cdot 10^6 \text{ bira}$$

$$L_2 = 1100 \text{ h} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{2900 \text{ bira}}{1 \text{ min}} = 191,4 \cdot 10^6 \text{ bira}$$

$$L_3 = 1100 \text{ h} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{4302 \text{ bira}}{1 \text{ min}} = 283,93 \cdot 10^6 \text{ bira}$$

$$L_4 = 1100 \text{ h} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{5385 \text{ bira}}{1 \text{ min}} = 355,41 \cdot 10^6 \text{ bira}$$

$$L_5 = 900 \text{ h} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{6728 \text{ bira}}{1 \text{ min}} = 363,31 \cdot 10^6 \text{ bira}$$

$$L_6 = 250 \text{ h} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{8442 \text{ bira}}{1 \text{ min}} = 126,63 \cdot 10^6 \text{ bira}$$

$$L_{am} = 150 \text{ h} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{1722 \text{ bira}}{1 \text{ min}} = 15,50 \cdot 10^6 \text{ bira}$$

$$L = 1375,95 * 10^6 \text{ bira}$$

$$L_{10} = \frac{1375,95 * 10^6}{0,02 + 4,439 * \left[\ln \left(\frac{1}{0,90} \right) \right]^{1,483}} = 1385,16 * 10^6$$

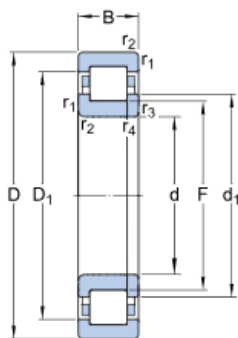
Hortaz,

$$C = 5,28 * (1385,16)^{\frac{3}{10}} = 46,25 \text{ KN}$$

Behin karga ahalmen dinamikoa (C) eta diametroa jakinda, SKF etxearen arrabola zilindrikodun errodamenduen katalogoari erreparatuko zaio baldintza horiek betetzen dituen errodamendua aukeratzeko asmoz:

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Designación
d	D	B	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite	
mm			kN		kN	r/min		
↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕
25	62	24	64	55	6.95	12000	22000	▶ NU 2305 ECML
25	52	18	39	34	4.25	15000	16000	▶ NU 2205 ECP
25	52	15	32.5	27	3.35	15000	16000	▶ NJ 205 ECPH
25	62	17	46.5	36.5	4.55	12000	15000	▶ N 305 ECP
25	62	17	46.5	36.5	4.55	12000	15000	▶ NUP 305 ECP
25	62	17	46.5	36.5	4.55	12000	15000	▶ NUP 305 ECJ
25	52	15	32.5	27	3.35	15000	16000	▶ N 205 ECP
25	52	15	32.5	27	3.35	15000	26000	▶ NJ 205 ECML
25	62	24	64	55	6.95	12000	15000	▶ NU 2305 ECP
25	62	24	64	55	6.95	12000	15000	▶ NU 2305 ECJ
25	62	24	64	55	6.95	12000	15000	▶ NJ 2305 ECP

Goiko irudian ikus daitekeen bezala, NUP 305 ECP errodamendua da baldintzak betetzen dituena. Bere ezaugarriak:



d	25	mm
D	62	mm
B	17	mm
d ₁	≈ 38.1	mm
D ₁	≈ 50.15	mm
F	34	mm
r _{1,2}	min. 1.1	mm
r _{3,4}	min. 1.1	mm

Hortaz, ardatz sekundarioaren C euskarrian ere, tarteko ardatzaren A euskarrian egin den bezala, NUP 305 ECP arrabola zilindrikodun errodamendua jarriko da.

3.4.4.2.2. D euskarriko errodamendua

Tarteko ardatzaren B euskarrian gertatu den bezala, euskarri honetan jarriko den errodamenduak karga erradialez gain karga axialak ere jasan beharko ditu. Hori dela eta, bertan boladun errodamendu bat ezartzea erabaki da eta, beraz, B euskarriko errodamendua aukeratzeko burutu den prozesu bera egingo da.

Lehen bezala, hauek izango dira e , X eta Y faktoreen hasierako balioak:

- $e = 0,27$
- $\frac{F_r}{F_a} > e \rightarrow X = 0,56 \text{ eta } Y = 1,63$
- $\frac{F_r}{F_a} \leq e \rightarrow X = 1 \text{ eta } Y = 0$

F_a/C_0	e	$F_a/(VF_r) \leq e$		$F_a/(VF_r) > e$	
		X	Y	X	Y
0.014*	0.19	1	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1	0	0.56	1.71
0.07	0.27	1	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1	0	0.56	1.55
0.11	0.30	1	0	0.56	1.45
0.17	0.34	1	0	0.56	1.31
0.28	0.38	1	0	0.56	1.15
0.42	0.42	1	0	0.56	1.04
0.56	0.44	1	0	0.56	1

*Usar 0.014 si $F_a/C_0 < 0.014$

Kasu honetan ere segurtasun koefiziente bat ($CS = 1,2$) erabiliko da. Beraz:

$$F_e = X * V * F_R + Y * F_a$$

1. abiadura \rightarrow

$$\frac{F_{a1}}{F_{r1}} = \frac{3134,73}{739,17} = 4,24 > 0,27$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 1,63$$

$$F_{b1} = 0,56 * 1 * 739,17 + 1,63 * 3134,73 \rightarrow 1,2 * 5523,54 = 6628,25 \text{ N} = 6,63 \text{ KN}$$

2. abiadura \rightarrow

$$\frac{F_{a2}}{F_{r2}} = \frac{2090,04}{1441,57} = 1,44 > 0,27$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 1,63$$

$$F_{b2} = 0,56 * 1 * 1441,57 + 1,63 * 2090,04 \rightarrow 1,2 * 4214,04 = 5056,85 \text{ N} = 5,06 \text{ KN}$$

3. abiadura →

$$\frac{F_{a3}}{F_{r3}} = \frac{1635,75}{1502,12} = 1,09 > 0,27$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 1,63$$

$$F_{b3} = 0,56 * 1 * 1502,12 + 1,63 * 1635,75 \rightarrow 1,2 * 3507,46 = 4208,95 \text{ N} = 4,21 \text{ KN}$$

4. abiadura →

$$\frac{F_{a4}}{F_{r4}} = \frac{1447,04}{2037,06} = 0,71 > 0,27$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 1,63$$

$$F_{b4} = 0,56 * 1 * 2037,06 + 1,63 * 1447,04 \rightarrow 1,2 * 3499,43 = 4199,31 \text{ N} = 4,2 \text{ KN}$$

5. abiadura →

$$\frac{F_{a5}}{F_{r5}} = \frac{1297,36}{2125,14} = 0,61 > 0,27$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 1,63$$

$$F_{b5} = 0,56 * 1 * 2125,14 + 1,63 * 1297,36 \rightarrow 1,2 * 3304,77 = 3965,73 \text{ N} = 3,97 \text{ KN}$$

6. abiadura →

$$\frac{F_{a6}}{F_{r6}} = \frac{1175,75}{2503,97} = 0,47 < 0,27$$

$$X = 0,56 \text{ eta } Y = 1,63$$

$$F_{b6} = 0,56 * 1 * 2503,97 + 1,63 * 1175,75 \rightarrow 1,2 * 3318,70 = 3982,43 \text{ N} = 3,98 \text{ KN}$$

Atzerako martxa →

$$\frac{F_{a\text{ am}}}{F_{r\text{ am}}} = \frac{0}{7955,78} = 0 < 0,27$$

$$X = 1 \text{ eta } Y = 0$$

$$F_{b\text{ am}} = 1 * 1 * 7955,78 + 0 * 0 \rightarrow 1,2 * 7955,78 = 9546,94 \text{ N} = 9,55 \text{ KN}$$

Karga baliokidea:

$$F = \sqrt[3]{6,63^3 * \frac{8}{100} + 5,06^3 * \frac{22}{100} + 4,21^3 * \frac{22}{100} + 4,20^3 * \frac{22}{100} + 3,97^3 * \frac{18}{100} + 3,98^3 * \frac{5}{100} + 9,55^3 * \frac{3}{100}}$$

$$F = 5 \text{ KN}$$

Karga dinamikoa:

$$C = F * (L_{10})^{\frac{1}{a}} = 5 * (1385,16)^{\frac{1}{3}} = 55,74 \text{ KN}$$

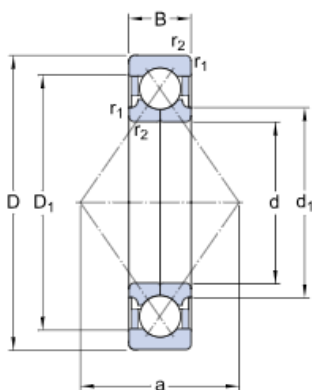
Lehen egin bezala, karga ahalmen dinamikoa eta diametroa ezagututa SKF etxearen boladun errodamenduen katalogora joko da.

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga limite de fatiga	Velocidades nominales	Designación
d	D	B	dinámica	estática	P_u	Velocidad límite	
mm			C	C_0	kN	r/min	
25	52	15	27	21.2	0.9	22000	QJ 205 MA
25	62	17	42.5	30	1.27	20000	QJ 305 MA
25	62	17	42.5	30	1.27	20000	QJ 305 N2MA
25	52	15	27	21.2	0.9	22000	QJ 205 N2MA

Karga ahalmen dinamikoaren balioa kontuan hartuta beharrekoa baino barne diametro handiagoa duen errodamendu bat lortzen da. Hau erabiliz gero, tentsio kontzentrazioak agertuko lirateke eta, beraz, ez da komenigarria. Hori dela eta, dauden aukerak aztertuta errodamendu pare bat jartzea erabaki da.

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga limite de fatiga	Velocidades nominales	Designación
d	D	B	dinámica	estática	P_u	Velocidad límite	
mm			C	C_0	kN	r/min	
25	52	15	27	21.2	0.9	22000	QJ 205 MA
25	62	17	42.5	30	1.27	20000	QJ 305 MA
25	62	17	42.5	30	1.27	20000	QJ 305 N2MA
25	52	15	27	21.2	0.9	22000	QJ 205 N2MA

Beraz D puntuko euskarrian QJ 305 MA boladun errodamendu bikote bat jartzea erabaki da. Ezaugarriak:



d	25	mm
D	62	mm
B	17	mm
d ₁	≈ 34	mm
D ₁	≈ 49	mm
a	30	mm
r _{1,2}	min. 1.1	mm

3.4.4.3. Ardatz primarioa

Ardatz primarioa E eta F euskarrietan kokatuko diren bi errodamendu finkatzen dute. Kasu honetan, elkarren aurrean (“*espalda con espalda*”) ezarriko diren errodamendu koniko bi jartzea erabaki da. Euren barne diametroa 35 mm-koa izango da.

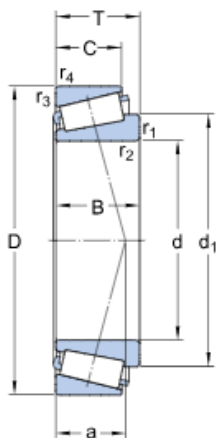
Euskarrietan sortuko diren erreakzioak lehen kalkulatu dira:

Hartze konstantea	Karga erradiala (E)	Karga erradiala (F)	Karga axiala (E)
	5090,70	9009,96	1393,45

SKF etxearen katalogotik errodamendu bat aukeratuko dugu barne diametroa kontuan izanik:

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga limite de fatiga	Velocidades nominales		Designación
d	D	T	dinámica	estática	P_u	Velocidad de referencia	Velocidad límite	
mm			kN		kN	r/min		
35	72	24.25	81.2	78	8.5	8000	9500	▶ 32207
35	80	22.75	88.9	73.5	8.3	7500	9000	▶ 30307 R
35	62	18	52.3	54	5.85	8500	10000	▶ 32007 X
35	80	32.75	117	106	12.2	6700	9000	▶ 32307
35	80	22.75	75.4	67	7.8	6300	8500	▶ 31307
35	72	18.25	63.2	56	6.1	8000	9500	▶ 30207
35	72	28	104	106	11.8	7000	9500	▶ 33207
35	80	32.75	115	114	12.9	6300	8500	▶ 32307 B
35	80	22.75	88.9	73.5	8.3	7500	9000	▶ 30307

Irudian ikus daitekeenez 33207 errodamendu konikoa hautatu da. Bere ezaugarriak:



d	35	mm
D	72	mm
T	28	mm
d_1	≈ 53.45	mm
B	28	mm
C	22	mm
$r_{1,2}$	min. 1.5	mm
$r_{3,4}$	min. 1.5	mm

Capacidad de carga dinámica básica	C	104	kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	106	kN
Carga límite de fatiga	P _u	11.8	kN
Velocidad de referencia		7000	r/min
Velocidad límite		9500	r/min
Factor de cálculo	e	0.35	
Factor de cálculo	Y	1.7	
Factor de cálculo	Y ₀	0.9	

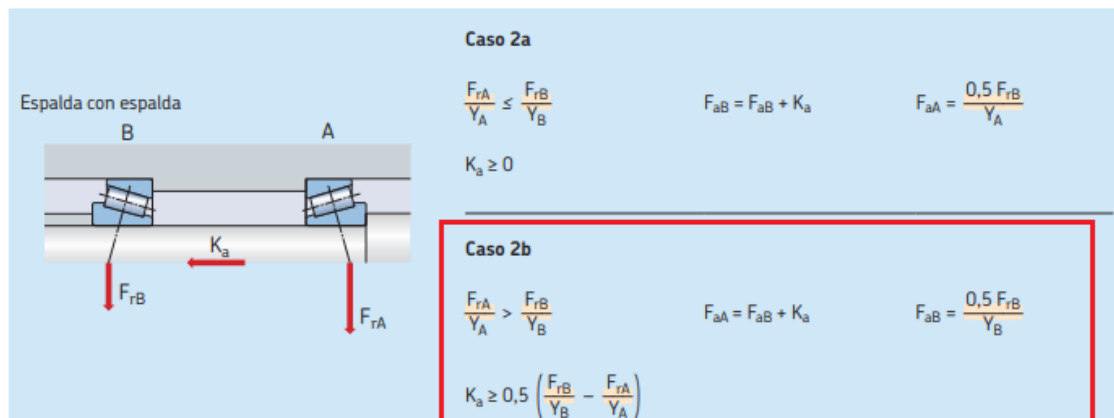
$$K_a = 1393,45 \text{ N}$$

$$\frac{F_{rE}}{Y} = \frac{5090,70}{1,7} < \frac{9009,96}{1,7} = \frac{F_{rF}}{Y}$$

$$0,5 * \left(\frac{F_{rF}}{Y} - \frac{F_{rE}}{Y} \right) = 0,5 * \left(\frac{9009,96}{1,7} - \frac{5090,70}{1,7} \right) = 1152,72$$

$$0,5 * \left(\frac{F_{rF}}{Y} - \frac{F_{rE}}{Y} \right) = 1152,72 \text{ N} < K_a = 1393,45 \text{ N}$$

Lortutako balioekin eta SKF etxearen katalogoa ikusita, 2b kasua azertu beharko da errodamenduen aukeraketarekin jarraitzeko.



$$F_{aF} = F_{aE} + K_a$$

$$F_{aE} = \frac{0,5 * F_{rE}}{Y_E} = \frac{0,5 * 5090,70}{1,7} = 1497,26 \text{ N}$$

$$F_{aF} = F_{aE} + K_a = 1497,26 + 1393,45 = 2890,71 \text{ N}$$

Datuak:

Errodamenduen bizi iraupena: 4000 ordu

Ardatzaren abiadura: 5800 bira/minutuko

Fidagarritasuna: %90

Beraz:

$$L = 4000 \text{ ordu} * \frac{5800 \text{ bira}}{1 \text{ minutu}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ minutu}} = 1392 * 10^6 \text{ bira}$$

$$L_{10} = \frac{1392 * 10^6}{0,02 + 4,439 * \left[\ln \left(\frac{1}{0,90} \right) \right]^{\frac{1}{1,483}}} = 1401,32 * 10^6$$

Behin errodamenduen karga baliokidea eta bizitza nominala kalkulaturik karga dinamikoa kalkulatu da aukeraketa egokia den ala ez erabaki ahal izateko:

$$C = F * (L_{10})^{\frac{1}{a}}$$

$$C_E = 1,497 * 1401,32^{\frac{3}{10}} = 13,16 \text{ KN} < 104 \text{ KN} \rightarrow OK$$

$$C_F = 2,89 * 1401,32^{\frac{3}{10}} = 25,40 \text{ KN} < 104 \text{ KN} \rightarrow OK$$

3.4.4.4. Ardatz sekundarioko gurpilentzako errodamenduak

Ardatz honetako gurpilek (atzerako martxari dagokiona kenduta) era librean biratzen dute sinkronizatailea eurretako bati egokitzen ez bazaio. Biraketa hori burutzeko, jakina, gurpilek errodamenduak behar dituzte, eta ez da ahaztu behar hauek izango direla, errodamenduak alegia, gurpilak engranatzean sortuko diren kargak jasango dituzten osagaiak.

Helburu honetarako erabiltzen diren errodamenduak orratz erakoak dira. Nahiz eta zeharkako sekzio txikia izan, karga handiak jasateko gai dira eta, hortaz, oso aproposak dira espazio gutxiko egoeretan erabiltzeko.

$$F_e = X * V * F_R + Y * F_a$$

$$X = 1, \quad V = 1 \quad \text{eta} \quad Y = 0$$

Abiadura bakoitza aztertuko da, errodamendu bat aukeratzuz.

1. Lehenengo abiadura

$$U = 8612,59 \text{ N}$$

$$F_R = 3134,73 \text{ N}$$

$$F = \sqrt{8612,59^2 + 3134,73^2} = 9165,33 \text{ KN}$$

$$F_b = 1 * 1 * 9165 + 0 = 9,16 \text{ KN}$$

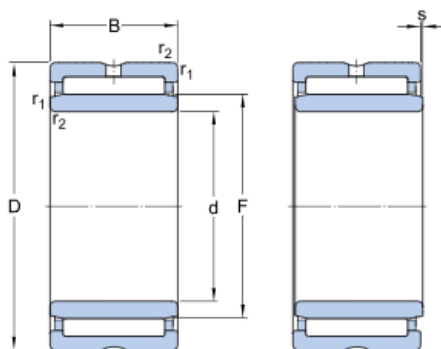
$$L_{10} = \frac{39,77 * 10^6}{0,02 + 4,439 * \left[\ln \left(\frac{1}{0,90} \right) \right]^{1,483}} = 40,03 * 10^6 \text{ bira}$$

$$C = F * (L_{10})^{\frac{1}{a}} = 9,16 * 40,03^{\frac{3}{10}} = 27,70 \text{ KN}$$

Kalkulatutako karga gaitasunarekin eta diametroarekin ($d = 30 \text{ mm}$) SFK etxearen orratz erako errodamenduen katalogora joanda:

Dimensiones principales	Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Designación
	dinámica	estática		Velocidad de referencia	Velocidad límite	
d D B C	C	C ₀	P _u			
mm	kN		kN	r/min		
30 52 22	36.9	54	6.55	10000	12000	▶ NKIS 30
30 47 18 17	23.3	32	3.8		5600	▶ NA 4906.2RS
30 47 18 17	23.3	32	3.8		5600	NA 4906 RS
30 45 20	27.5	52	6.55	11000	13000	▶ NKI 30/20 TN
30 47 17	25.5	39	4.65	11000	13000	▶ NA 4906
30 47 16	23.3	37.5	4.5	11000	13000	NAO 30x47x16
30 47 18	26.4	44	5.3	11000	13000	NAO 30x47x18
30 47 30	42.9	75	9.3	11000	13000	▶ NA 6906
30 45 17	19.8	39	4.65	12000	13000	NAO 30x45x17
30 45 30	40.2	85	10.6	11000	13000	▶ NKI 30/30 TN

Irudian ikusten den bezala, behar diren ezaugarriak betetzen dituen errodamendua NA 6906 da. Hona hemen errodamendu horren datuak:



d	30	mm
D	47	mm
B	30	mm
F	35	mm
r _{1,2}	min. 0.3	mm
s	max. 1	mm

2. Bigarren abiadura

$$U = 5742,33 \text{ N}$$

$$F_R = 2090,04 \text{ N}$$

$$F = \sqrt{5742,33^2 + 2090,04^2} = 6,11 \text{ KN}$$

$$F_b = 1 * 1 * 6,11 + 0 = 6,61 \text{ KN}$$

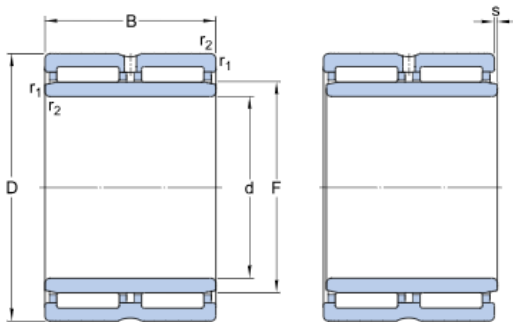
$$L_{10} = \frac{191,4 * 10^6}{0,02 + 4,439 * \left[\ln\left(\frac{1}{0,90}\right) \right]^{\frac{1}{1,483}}} = 192,68 * 10^6 \text{ bira}$$

$$C = F * (L_{10})^{\frac{1}{a}} = 6,11 * 192,68^{\frac{3}{10}} = 29,61 \text{ KN}$$

Kalkulatutako karga gaitasunarekin eta diametroarekin ($d = 32 \text{ mm}$) SFK etxearen orratz erako errodamenduen katalogora joanda:

Dimensiones principales				Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Designación
				dinámica	estática		Velocidad de referencia	Velocidad límite	
d	D	B	C	C	C ₀	P _u			
mm				kN		kN	r/min		
↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕
32	47	20	25.1	46.5	5.85	11000	12000	▶ NKI 32/20	
32	52	36	47.3	90	10.8	10000	11000	▶ NA 69/32	
32	52	20	30.8	51	6.3	10000	11000	▶ NA 49/32	
32	47	30	36.9	76.5	9.5	11000	12000	▶ NKI 32/30	

Irudian ikusten den bezala, behar diren ezaugarriak betetzen dituen errodamendua NKI 32/30 da. Hona hemen errodamendu horren datuak:



d	32	mm
D	52	mm
B	36	mm
F	40	mm
r _{1,2}	min. 0.6	mm
s	max. 0.5	mm

3. Hirugarren abiadura

$$U = 4494,20 \text{ N}$$

$$F_R = 1635,75 \text{ N}$$

$$F = \sqrt{4494,20^2 + 1635,75^2} = 4782,63 \text{ N}$$

$$F_b = 1 * 1 * 4782,63 + 0 = 4,79 \text{ KN}$$

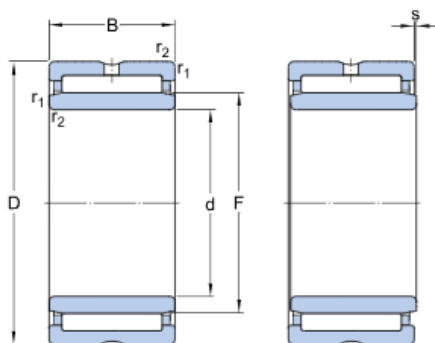
$$L_{10} = \frac{283,93 * 10^6}{0,02 + 4,439 * \left[\ln \left(\frac{1}{0,90} \right) \right]^{\frac{1}{1,483}}} = 285,83 * 10^6 \text{ bira}$$

$$C = F * (L_{10})^{\frac{1}{a}} = 4,79 * 285,83^{\frac{3}{10}} = 26,13 \text{ KN}$$

Kalkulatutako karga gaitasunarekin eta diametroarekin ($d = 30 \text{ mm}$) SFK etxearen orratz erako errodamenduen katalogora joanda:

Dimensiones principales				Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Designación
d	D	B	C	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite	
mm				kN		kN	r/min		
30	52	22		36.9	54	6.55	10000	12000	▶ NKIS 30
30	47	18	17	23.3	32	3.8		5600	▶ NA 4906.2RS
30	47	18	17	23.3	32	3.8		5600	NA 4906 RS
30	45	20		27.5	52	6.55	11000	13000	▶ NKI 30/20 TN
30	47	17		25.5	39	4.65	11000	13000	▶ NA 4906
30	47	16		23.3	37.5	4.5	11000	13000	NAO 30x47x16
30	47	18		26.4	44	5.3	11000	13000	NAO 30x47x18
30	47	30		42.9	75	9.3	11000	13000	▶ NA 6906
30	45	17		19.8	39	4.65	12000	13000	NAO 30x45x17
30	45	30		40.2	85	10.6	11000	13000	▶ NKI 30/30 TN

Irudian ikusten den bezala, behar diren ezaugarriak betetzen dituen errodamendua NA 6906 da. Hona hemen errodamendu horren datuak:



d	30	mm
D	47	mm
B	30	mm
F	35	mm
r _{1,2}	min. 0.3	mm
s	max. 1	mm

4. Laugarren abiadura

$$U = 3975,71 \text{ N}$$

$$F_R = 1447,04 \text{ N}$$

$$F = \sqrt{3975,71^2 + 1447,04^2} = 4230,86 \text{ N}$$

$$F_e = 1 * 1 * 4230,86 + 0 = 4,32 \text{ KN}$$

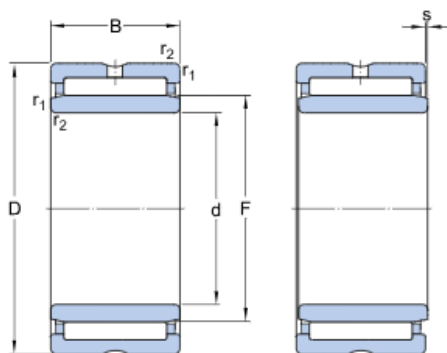
$$L_{10} = \frac{355,41 * 10^6}{0,02 + 4,439 * \left[\ln\left(\frac{1}{0,90}\right) \right]^{1,483}} = 357,79 * 10^6 \text{ bira}$$

$$C = F * (L_{10})^{\frac{1}{a}} = 4,32 * 357,79^{\frac{3}{10}} = 25,32 \text{ KN}$$

Kalkulatutako karga gaitasunarekin eta diametroarekin ($d = 30 \text{ mm}$) SFK etxearen orratz erako errodamenduen katalogora joanda:

Dimensiones principales				Capacidad de carga básica		Carga limite de fatiga	Velocidades nominales		Designación
d	D	B	C	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite	
mm				kN		kN	r/min		
30	52	22		36.9	54	6.55	10000	12000	▶ NKIS 30
30	47	18	17	23.3	32	3.8		5600	▶ NA 4906.2RS
30	47	18	17	23.3	32	3.8		5600	NA 4906 RS
30	45	20		27.5	52	6.55	11000	13000	▶ NKI 30/20 TN
30	47	17		25.5	39	4.65	11000	13000	▶ NA 4906
30	47	16		23.3	37.5	4.5	11000	13000	NAO 30x47x16
30	47	18		26.4	44	5.3	11000	13000	NAO 30x47x18
30	47	30		42.9	75	9.3	11000	13000	▶ NA 6906
30	45	17		19.8	39	4.65	12000	13000	NAO 30x45x17
30	45	30		40.2	85	10.6	11000	13000	▶ NKI 30/30 TN

Irudian ikusten den bezala, behar diren ezaugarriak betetzen dituen errodamendua NA 6906 da. Hona hemen errodamendu horren datuak:



d	30	mm
D	47	mm
B	30	mm
F	35	mm
r _{1,2}	min. 0.3	mm
s	max. 1	mm

5. Bosgarren abiadura

$$U = 3564,48 \text{ N}$$

$$F_R = 1297,36 \text{ N}$$

$$F = \sqrt{3564,48^2 + 1297,36^2} = 3793,24 \text{ N}$$

$$F_b = 1 * 1 * 3793,24 + 0 = 3,80 \text{ KN}$$

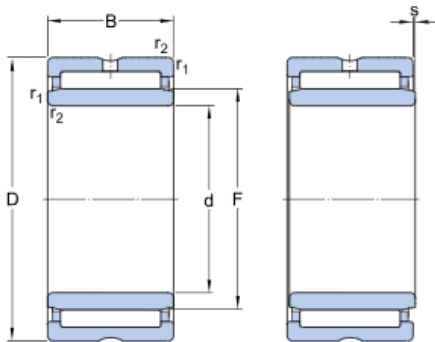
$$L_{10} = \frac{363,31 * 10^6}{0,02 + 4,439 * \left[\ln\left(\frac{1}{0,90}\right) \right]^{\frac{1}{1,483}}} = 365,74 * 10^6 \text{ bira}$$

$$C = F * (L_{10})^{\frac{1}{a}} = 3,80 * 365,74^{\frac{3}{10}} = 22,32 \text{ KN}$$

Kalkulatutako karga gaitasunarekin eta diametroarekin (d = 30 mm) SFK etxearen orratz erako errodamenduen katalogora joanda:

Dimensiones principales				Capacidad de carga básica		Carga limite de fatiga	Velocidades nominales		Designación
				dinámica	estática		Velocidad de referencia	Velocidad límite	
d	D	B	C	C	C ₀	P _u			
mm				kN		kN	r/min		
↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕
28	42	20	26.4	48	6	12000	14000	▶ NKI 28/20 TN	
28	42	30	34.1	65.5	8.3	12000	14000	▶ NKI 28/30	
28	45	17	25.1	36.5	4.4	12000	14000	▶ NA 49/28	
28	45	30	39.6	65.5	8.3	12000	14000	NA 69/28	

Irudian ikusten den bezala, behar diren ezaugarriak betetzen dituen errodamendua NA 69/28 da. Hona hemen errodamendu horren datuak:



d	28	mm
D	45	mm
B	30	mm
F	32	mm
r _{1,2}	min. 0.3	mm
s	max. 1	mm

6. Seigarren abiadura

$$U = 3230,35 \text{ N}$$

$$F_R = 1175,75 \text{ N}$$

$$F = \sqrt{3230,35^2 + 1175,75^2} = 3437,67 \text{ N}$$

$$F_b = 1 * 1 * 3437,67 + 0 = 3,44 \text{ KN}$$

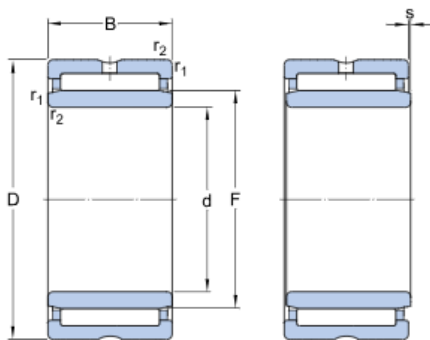
$$L_{10} = \frac{126,63 * 10^6}{0,02 + 4,439 * \left[\ln\left(\frac{1}{0,90}\right) \right]^{\frac{1}{1,483}}} = 127,48 * 10^6 \text{ bira}$$

$$C = F * (L_{10})^{\frac{1}{a}} = 3,44 * 127,48^{\frac{3}{10}} = 14,73 \text{ KN}$$

Kalkulatutako karga gaitasunarekin eta diametroarekin (d = 25 mm) SFK etxearen orratz erako errodamenduen katalogora joanda:

Dimensiones principales				Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Designación
				dinámica	estática		Velocidad de referencia	Velocidad límite	
d	D	B	C	C	C ₀	P _u			
mm				kN		kN	r/min		
↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕
25	38	20		24.6	42.5	5.2	14000	15000	▶ NKI 25/20 TN
25	47	22		34.1	46.5	5.7	12000	13000	NKIS 25
25	38	30		31.9	60	7.5	14000	15000	▶ NKI 25/30
25	42	17		24.2	34.5	4.15	13000	15000	▶ NA 4905
25	42	16		22	33.5	4	13000	15000	NAO 25x42x16
25	42	30		38	62	7.65	13000	15000	▶ NA 6905
25	42	18	17	21.6	27.5	3.25		6300	NA 4905 RS
25	42	18	17	21.6	27.5	3.25		6300	▶ NA 4905.2RS
25	42	32		38	67	8	13000	15000	NAO 25x42x32
25	40	17		18.7	34	4.05	13000	15000	NAO 25x40x17

Irudian ikus daitekeen bezala, beharrezko ezaugarriak dituen errodamendua NKI 25/30 da. Bere ezaugarriak:

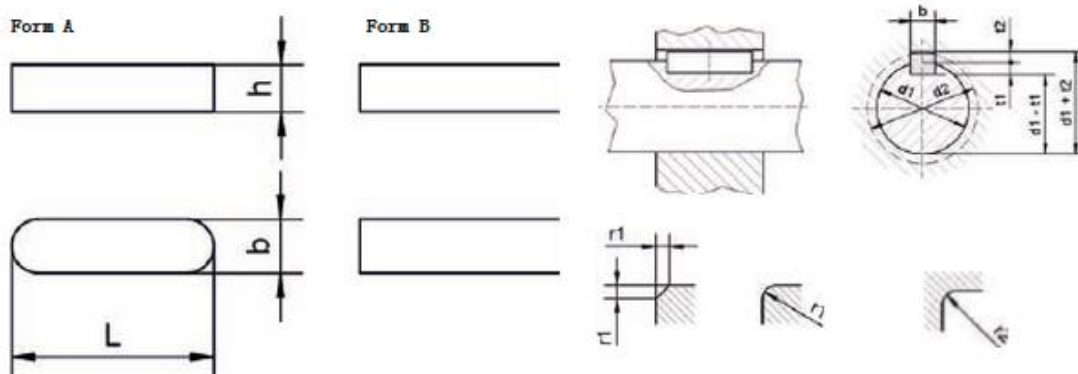


d	25	mm
D	38	mm
B	30	mm
F	29	mm
r _{1,2}	min. 0.3	mm
s	max. 1.5	mm

3.4.5. Txabetak

Txabetaren bidez ardatzaren momentu bihurtzailea ardatzean muntatutako osagaiari transmititzen zaio. Txabeta mota desberdin asko dauden: zirkularrak, trapezoidalak, Woodruff,... Txabetaren zabalera (b) eta altuera (h) normalizatuta daude ardatzaren

diametroaren baitan (DIN 6885 araua). Era honetan, diseinatzaileak soilik txabetaren luzera (L) kalkulatu behar du.



Kalkulu hori burutzeko, txabetarengan $F = T/R$ indar batek eragiten duela suposatzen da. Hala ere, aipatu beharra dago suposaketa hau sinplifikazio bat dela, errealitatean indarren banaketa txabetaren eta txabeta kokatzen den zuloaren artean dagoen espazioaren arabera (zenbat eta kokapen zehatzagoa, orduan eta portaera hobea).

Hipotesi bat eginez, txabetak indar horren eraginez sortutako honako bi kasu hauetan huts egingo duela aurrean daiteke: indar ebakitzaila medio edota makurdura indarra medio.

Txabeten materiala aukeratzeko orduan txabetek duten beste funtzio bat hartu behar da kontutan. Izan ere, normalean txabetak burutzeko erabiltzen diren materialen propietateak ardatzak osatzeko erabiltzen direnenak baino txarragoak izaten dira. Era honetan, transmititu beharreko momentu bihurtzailea handiegia bada txabeta apurtuko da eta ez ardatza (kontuan izan behar da ardatzak txabetak baino garestiagoak direla). Honela, txabetek hala nolako “fusible mekaniko” izaera hartuko dute. Kasu honetan, txabetak burutzeko erabiliko den materiala honako altzairua izango da: C-45 altzairua, 590 N/mm^2 -ko fluentzia tentsioa duena.

Txabetarengan eragiten duen F indarra kalkulatzeko engranajeek transmititzen duten momentu bihurtzailea eta ardatzaren erradioa izango dira kontuan. Horretaz gain, Rodavigo fabrikatzailearen katalogoa erabiliko da.

Txabeten luzera kalkulatzeko erabiliko diren formulak honako hauek izango dira:

- Makurdura

$$\sigma = \frac{F}{t * L}$$

Non,

$\sigma =$ Tentsio normala

$F = \text{Txabetari eragiten dion indarra}$

$t = \text{Txabetaren sakonera ardatzean}$

$L = \text{Luzera}$

- Ebakidura

$$\tau = \frac{F}{b * L}$$

Non,

$\tau = \text{Tentsio ebakitzaila}$

$F = \text{Txabetari eragiten dion indarra}$

$b = \text{Txabetaren zabalera}$

$L = \text{Luzera}$

1. abiadura →

Datuak:

$$\emptyset = 30 \text{ mm}$$

$$F = \frac{T}{R} = \frac{275}{0,015} = 18333,33 \text{ N}$$

$$b = 10 \text{ mm}$$

$$h = 8 \text{ mm}$$

$$t = 2,5 \text{ mm}$$

- Makurdura

$$\sigma = \frac{F}{t * L} \rightarrow L = \frac{18333,33}{2,5 * 590} = 12,43 \text{ mm}$$

- Ebakidura

$$\tau = \frac{F}{b * L} \rightarrow L = \frac{18333,33}{10 * \frac{590}{2}} = 6,21 \text{ mm}$$

2. abiadura →

Datuak:

$$\emptyset = 32 \text{ mm}$$

$$F = \frac{T}{R} = \frac{275}{0,016} = 17187,5 \text{ N}$$

$$b = 10 \text{ mm}$$

$$h = 8 \text{ mm}$$

$$t = 2,5 \text{ mm}$$

- Makurdura

$$\sigma = \frac{F}{t * L} \rightarrow L = \frac{17187,5}{2,5 * 590} = 11,65 \text{ mm}$$

- Ebakidura

$$\tau = \frac{F}{b * L} \rightarrow L = \frac{17187,5}{10 * \frac{590}{2}} = 5,83 \text{ mm}$$

3. abiadura →

Datuak:

$$\emptyset = 30 \text{ mm}$$

$$F = \frac{T}{R} = \frac{275}{0,015} = 18333,33 \text{ N}$$

$$b = 10 \text{ mm}$$

$$h = 8 \text{ mm}$$

$$t = 2,5 \text{ mm}$$

Datuak berdinak direnez, kasu honetan lehenbiziko abiaduran erabili den txabeta bera erabiliko da.

4. abiadura →

Datuak:

$$\emptyset = 29 \text{ mm}$$

$$F = \frac{T}{R} = \frac{275}{0,0145} = 18965,52 \text{ N}$$

$$b = 10 \text{ mm}$$

$$h = 8 \text{ mm}$$

$$t = 2,5 \text{ mm}$$

- Makurdura

$$\sigma = \frac{F}{t * L} \rightarrow L = \frac{18965,52}{2,5 * 590} = 12,43 \text{ mm}$$

- Ebakidura

$$\tau = \frac{F}{b * L} \rightarrow L = \frac{18333,33}{10 * \frac{590}{2}} = 6,21 \text{ mm}$$

5. abiadura →

Datuak:

$$\emptyset = 28 \text{ mm}$$

$$F = \frac{T}{R} = \frac{275}{0,014} = 19642,86 \text{ N}$$

$$b = 10 \text{ mm}$$

$$h = 8 \text{ mm}$$

$$t = 2,5 \text{ mm}$$

- Makurdura

$$\sigma = \frac{F}{t * L} \rightarrow L = \frac{19642,86}{2,5 * 590} = 13,32 \text{ mm}$$

- Ebakidura

$$\tau = \frac{F}{b * L} \rightarrow L = \frac{19642,86}{10 * \frac{590}{2}} = 6,66 \text{ mm}$$

6. abiadura →

Datuak:

$$\emptyset = 25 \text{ mm}$$

$$F = \frac{T}{R} = \frac{275}{0,0125} = 22000 \text{ N}$$

$$b = 10 \text{ mm}$$

$$h = 8 \text{ mm}$$

$$t = 2,5 \text{ mm}$$

- Makurdura

$$\sigma = \frac{F}{t * L} \rightarrow L = \frac{22000}{2,5 * 590} = 14,92 \text{ mm}$$

- Ebakidura

$$\tau = \frac{F}{b * L} \rightarrow L = \frac{22000}{10 * \frac{590}{2}} = 7,56 \text{ mm}$$

Atzerako martxa →

Datuak:

$$\varnothing = 34 \text{ mm}$$

$$F = \frac{T}{R} = \frac{275}{0,017} = 16176,47 \text{ N}$$

$$b = 10 \text{ mm}$$

$$h = 8 \text{ mm}$$

$$t = 2,5 \text{ mm}$$

- Makurdura

$$\sigma = \frac{F}{t * L} \rightarrow L = \frac{16176,47}{2,5 * 590} = 10,97 \text{ mm}$$

- Ebakidura

$$\tau = \frac{F}{b * L} \rightarrow L = \frac{16176,47}{10 * \frac{590}{2}} = 5,48 \text{ mm}$$

Behin abiadura guztiak aztertuta, denei 25 mm-ko luzera ezartzea erabaki da. Rodavigo etxearen katalogoa erabilia:

b ^{h9} x h ^{h11}	L mm																			Chavetero			
																				t ₁	d+t ₂		
3 x 3	8	10	12	14	15	16	18	20	22	25	28	30	32	35	36	40	45	50			1,8	d+1,4	
4 x 4	8	10	12	14	15	16	18	20	22	25	28	30	32	35	36	40	45	50			2,5	d+1,8	
5 x 5	10	12	14	15	16	18	20	22	25	28	30	32	35	36	40	45	50	55	56	60	70	3	d+2,3
6 x 6	12	14	15	16	18	20	22	25	28	30	32	35	36	40	45	50	55	56	60	70	80	3,5	d+2,8
8 x 7	18	20	22	25	28	30	32	35	36	40	45	50	55	56	60	63	70	80	90	100	110	4	d+3,3
10 x 8	20	22	25	28	30	32	35	36	40	45	50	55	56	60	63	70	80	90	100	110	120	5	d+3,3
12 x 8	25	28	30	32	35	36	40	45	50	55	56	60	63	70	80	90	100	110	120	130	140	5	d+3,3
14 x 9	35	36	40	45	50	55	56	60	63	70	80	90	100	110	120	125	130	140	150			5,5	d+3,8
16 x 10	40	45	50	55	56	60	63	70	80	90	100	110	120	125	130	140	150					6	d+4,3
18 x 11	50	55	56	60	63	70	80	90	100	110	120	125	130	140	150	160						7	d+4,4
20 x 12	50	56	60	63	70	80	90	100	110	120	125	130	140	150	160	180	200					7,5	d+4,9
22 x 14	60	63	70	80	90	100	110	120	125	130	140	150	160	180	200	220	250					9	d+5,4
24 x 14	60	63	70	80	90	100	110	120	125	130	140	150	160	180	200	220	250					9	d+5,4
25 x 14	60	63	70	80	90	100	110	120	125	130	140	150	160	180	200	220	250					9	d+5,4
28 x 16	70	80	90	100	110	120	125	130	140	150	160	180	200	220	250	280	300					10	d+6,4
32 x 18	90	100	110	120	125	130	140	150	160	180	200	220	250	280	300	360						11	d+7,4
36 x 20	90	100	110	120	125	130	140	150	160	180	200	220	250	280	300							12	d+8,4
40 x 22	90	100	110	120	125	130	140	150	160	180	200	220	250	280	300							13	d+9,4
45 x 25	100	110	120	125	130	140	150	160	180	200	220	250	280	300								15	d+10,4

Aukeratu diren txabeta guztietan ondokoa betetzen da:

$$L < 1,5 * d_{ardatza}$$

3.4.6. Sinkronizatzaileen dimentsionamendua

Abiaduren gurpilak errodamenduen bidez daude ardatz sekundariora finkatuta. Beraz, sinkronizatzailea gurpil hauetako baten akoplatzen ez bada gurpilek euren kasa biratuko dute eta momentu bihurtzailea ez da ardatz sekundariora transmitituko. Sinkronizatzailearen bidez bere kasa biratzen dabilen gurpiletako bat ardatzera finkatuko da, eta era honetan, motorrak emandako momentu bihurtzailea ardatz sekundariora transmitituko da.

Prozesu honen hasieran enbrage koniko batek bezala jokatuko du sinkronizatzaileak. Izan ere, abiadura aldaketa leuna eta progresiboa izan behar da eta hori horrela izateko sinkronizatzaileak ardatzaren eta gurpilaren abiadurak parekatu behar ditu. Horretarako, frikzio bidezko enbrage koniko batek bezala jokatuko du sinkronizatzaileak: horretara bideratuta dagoen gurpilaren gainazalarekin kontaktua egingo du eta sortuko den marruskaduraren bidez gurpilaren eta ardatzaren abiadurak berdinduko ditu. Abiadurak berdinduta, egoera aproposa izango da hortzen bidezko lotura burutzeko, eta sinkronizatzaileak eta gurpilak bat egingo dute eurretan definitu diren ildoetara (hortzei)

esker. Sinkronizatzailea, esan bezala, gai izan behar da motorraren momentu bihurtzailea transmititzeko eta, honenbestez, datu hori kontuan izan behar da mekanismo honen diseinua burutzeko.



Sinkronizatzaileak hiru atal nagusi ditu: eraztun sinkronizatzailea, kubo sinkronizatzailea eta sinkronizatzailea.

Eraztun sinkronizatzaileak forma konikoa izateaz baliatzen dira engranajeen kontra egiteko eta, honela, engranajeen eta sinkronizatzaileen abiadura berdintzeko (frikzio bidez). Atal koniko honetaz gain (sinkronizatzeko prozesuaren lehenbiziko atalaz arduratuko dena), eraztunak beste elementu garrantzitsu batzuk ditu sinkronizazioa burutzeko: hortzak, DIN 5480 arauaz definitu direnak. Aipatzekoa da sinkronizatzaileen tamaina eta hortz kopurua sekzioaren diametroaren menpe egongo direla. Hortz hauen bidez, sinkronizazioaren bigarren atala burutuko da, eta sinkronizatzaileak eta engranajeak (eta, hortzak, baita ardatz sekundarioak ere) elkarrekin biratuko dute, elementu bat izango balira bezala.

Kubo sinkronizatzaileak, berriz, hortzak dituzte bai kanpotik bai barnetik. Barneko hortzek sinkronizatzailea eta ardatz sekundarioa elkartzen dituzte. Kanpoko hortzen bidez eraztun sinkronizatzailea eta sinkronizatzailea akoplatzen dira, elementu bakar bat izango balira bezala joka dezaten. Hortzak, bai barnekoak bai kanpokoak, DIN 5480 araua jarraituta definitu dira.

Azkenik, sinkronizatzaileak 16MnCr5 altzairuz egingo dira. Hauexek dira ezkerretara eta eskuinetara mugituko direnak engranajeak, eraztunak eta kuboak

elementu bat balira bezala joka dezaten. Sinkronizatzailea aldagailuari konektatuta dago urkila baten bidez. Era horretan, gidariak beharizanen arabera abiadura definitu dezake.

Lehenbizi ildoen luzera kalkulatu da DIN 5480 araua erabiliz, eta ondoren egindako dimentsionamendua transmititu beharreko potentzia transmititzeko kapaza dela konprobatuko da sinkronizatzaileek sor dezaketen momentu bihurtzaile maximoa (T_{roz}) kalkulatu.

3.4.6.1. Ildoen luzeraren neurketa

Ildoen luzera kalkulatzeko DIN5480 erabiliko da, honako formula jarraituz:

$$L_t = \frac{F_u}{h * p * Z} * K$$

Non:

p = Presioa hegaletan = 100 N/mm²

K = Sostengu faktorea = 1,15

F_u = Indar tangenziala (N) = T/r , non T momentu bihurtzailea den eta r erradioa

h = Hortzen altuera

L_t = Loturaren luzera

Z = Hortz kopurua

Modulu bezala 1,75 mm aukeratu da.

Sinkronizatzaileak 3 izango dira guztira.

- 1-2 abiaduren sinkronizatzailea. Sekzioen diametroak:
 - Ardatzaren diametroa 1. abiaduran: 30 mm
 - Ardatzaren diametroa 2. abiaduran: 32 mm
- 3-4 abiaduren sinkronizatzailea. Sekzioen diametroak:
 - Ardatzaren diametroa 3. abiaduran: 30 mm
 - Ardatzaren diametroa 4. abiaduran: 30 mm
- 5-6 abiaduren sinkronizatzailea. Sekzioen diametroak:
 - Ardatzaren diametroa 5. abiaduran: 28 mm
 - Ardatzaren diametroa 6. abiaduran: 25 mm

Sinkronizatzaileak diametro txikienean joango kokatuko direla erabaki da. Hortaz:

- 1-2 abiaduren sinkronizatzailea: 30 mm
- 3-4 abiaduren sinkronizatzailea: 30 mm
- 5-6 abiaduren sinkronizatzailea: 25 mm

Behin sinkronizataileen erradioak definituta eta modulua aukeratuta hortz kopurua ezagutu daiteke taula erabiliz:

d_B mm	Number of teeth z for module m													
	0,5	0,6	0,75	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	4	5	6
6	10	8	6	6										
7	12	10	8	7										
8	14	12	9	8	6									
9	16	13	10	10	7									
10	18	15	12	11	8	6								
11	20	17	13	12	9	7								
12	22	18	14	13	10	8	6							
13	24	20	16	15	11	9	7	6						
14	26	22	17	16	12	10	8	6						
15	28	23	18	17	13	10	8	7	6					
16	30	25	20	18	14	11	9	8	6					
17	32	27	21	20	15	12	10	8	7					
18	34	28	22	21	16	13	10	9	7					
19	36	30	24	22	17	14	11	9						
20	38	32	25	23,24	18	14	12	10	8	6				
21	40	34	26	25	19	15	12	10						
22	42	35	28	26	20	16	13	11	9	7	6			
23	44	37	29	27	22	17	14	12						
24	46	38	30	28	22	18	14	12						
25	48	40	32	30	24	18	15	13	11	8	7			
26	50	42	33	31	24	19	16	13						
27	52	44	34	32	26	20	16	14						
28	54	45	36	34	26	21	17	14	12	10	8			
29	56	47	37	35	28	22	18	15						
30	58	48	38	36	28	22	18	16	13,14	10	8			
31	60	50	40	37	30	23	19	16						
32	62	52	41	38	30	24	20	17	14	11	9	6		
33	64	54	42	40	32	25	20	17						
34	66	55	44	41	32	26	21	18						

- 1-2 abiaduren sinkronizatailea → 16 hortz
- 3-4 abiaduren sinkronizatailea → 16 hortz
- 5-6 abiaduren sinkronizatailea → 14 hortz

Sinkronizatailea	Diametroa [mm]	Hortz kopurua
1. eta 2. abiadurak	30	16
3. eta 4. abiadurak	30	16
5. eta 6. abiadurak	25	13

- 1. eta 2. abiaduren sinkronizatailea

Datuak:

$$m = 1,75 \text{ mm}$$

$$z = 16$$

$$\varnothing = 30 \text{ mm}$$

$$F_u = \frac{T}{r} = \frac{962,5 \text{ N} * m}{0,0150 \text{ m}} = 64166,67 \text{ N}$$

$$d_2 = d_1 - 2 * m = 30 - 2 * 1,75 = 26,5 \text{ mm}$$

$$h = 0,5 * (30 - 26,5) = 1,75$$

$$L_t = \frac{F_u}{h * p * Z} * K = \frac{64166,67 \text{ N}}{1,75 \text{ mm} * 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 16} * 1,15 = 26,35 \text{ mm}$$

- 3. eta 4. abiaduren sinkronizatzailea

Datuak:

$$m = 1,75 \text{ mm}$$

$$z = 16$$

$$\varnothing = 30 \text{ mm}$$

$$F_u = \frac{T}{r} = \frac{370,70 \text{ N} * m}{0,0150 * m} = 24713,33 \text{ N}$$

$$d_2 = d_1 - 2 * m = 30 - 2 * 1,75 = 26,5 \text{ mm}$$

$$h = 0,5 * (30 - 26,5) = 1,75$$

$$L_t = \frac{F_u}{h * p * Z} * K = \frac{24713,33 \text{ N}}{1,75 \text{ mm} * 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 16} * 1,15 = 10,15 \text{ mm}$$

- 5. eta 6. abiaduren sinkronizatzailea

$$m = 1,75 \text{ mm}$$

$$z = 13$$

$$\varnothing = 25 \text{ mm}$$

$$F_u = \frac{T}{r} = \frac{237,05 \text{ N} * m}{0,0125 * m} = 18964 \text{ N}$$

$$d_2 = d_1 - 2 * m = 25 - 2 * 1,75 = 21,5 \text{ mm}$$

$$h = 0,5 * (25 - 21,5) = 1,75$$

$$L_t = \frac{F_u}{h * p * Z} * K = \frac{18964 \text{ N}}{1,75 \text{ mm} * 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 13} * 1,15 = 8,34 \text{ mm}$$

3.4.6.2. Sinkronizatzaileen marruskadura ahalmena

Sinkronizatzaileek enbrage koniko batek bezala funtzionatzen dute. Desberdintasuna: sinkronizatzaileek hortzak dituzte gurpilearekin eta ardatzarekin bat egiteko.

Halere kalkulua sinkronizatzaileak hortzik izango ez balu bezala egingo da, hau da, enbrage batek bezala funtzionatzen duela suposatuko da, kontserbakor jokatuz. Sinkronizatzaileari esleitutako konikotasuna transmititu beharreko momentu bihurtzailea jasateko gai den ala ez konprobatuko da.

$$F_a = 2 * \pi * p * r_b * (r_k - r_b)$$

$$T_{roz} = \frac{\mu * F_a * (r_k + r_b)}{2 * \sin \alpha}$$

$$d_k = 1,2 * d_b$$

Non:

T_{roz} = Sinkronizatzailearen marruskadura ahalmena

p = Presio maximoa

μ = marruskadura koefizientea = 0,4

r_b eta r_k = Kontaktu erradioak (barnekoa eta kanpokoak)

α = Konikotasun angelua = 12°

- 1. eta 2. abiaduren sinkronizatzailea
Abiadura hauetaz arduratzen diren gurpilen diametroak kontutan izanda, sinkronizatzailearen kanpo erradioa 30 mm eta barne erradioa 25 mm izatea suposatu da.

$$r_k = 1,2 * r_b \rightarrow r_b = \frac{30}{1,2} = 25 \text{ mm}$$

$$F_a = 2 * \pi * 100 * 25 * (30 - 25) = 78539,82 \text{ N}$$

$$T_{roz} = \frac{0,4 * 78539,82 * (30 + 25)}{2 * \sin 12} = 4155312,37 \text{ N.mm}$$

$$T_{roz} = 4155312,37 \text{ N.mm} > T_1 = 962500 \text{ N.mm}$$

BALIO DU

- 3. eta 4. abiaduren sinkronizatzailea

Abiadura hauetaz arduratzen diren gurpilen diametroak kontutan izanda, sinkronizatzailearen kanpo erradioa 26 mm eta barne erradioa 21,67 mm izatea suposatu da.

$$r_k = 1,2 * r_b \rightarrow r_b = \frac{26}{1,2} = 21,67 \text{ mm}$$

$$F_a = 2 * \pi * 100 * 21,67 * (26 - 21,67) = 58955,82 \text{ N}$$

$$T_{roz} = \frac{0,4 * 58955,82 * (26 + 21,67)}{2 * \sin 12} = 2703478,51 \text{ N.mm}$$

$$T_{roz} = 2703478,51 \text{ N.mm} > T_3 = 370700 \text{ N.mm}$$

BALIO DU

- 5. eta 6. abiaduren sinkronizatzailea

Abiadura hauetaz arduratzen diren gurpilen diametroak kontutan izanda, sinkronizatzailearen kanpo erradioa 24 mm eta barne erradioa 20 mm izatea suposatu da.

$$r_k = 1,2 * r_b \rightarrow r_b = \frac{24}{1,2} = 20 \text{ mm}$$

$$F_a = 2 * \pi * 100 * 20 * (24 - 20) = 50265,48 \text{ N}$$

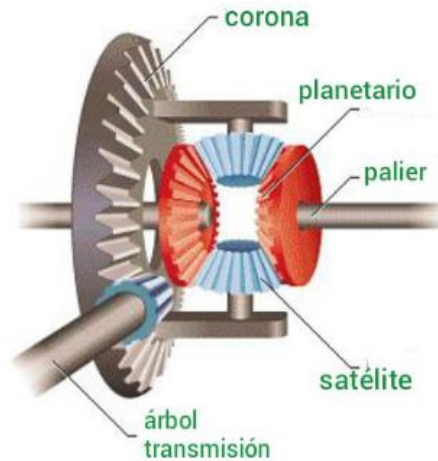
$$T_{roz} = \frac{0,4 * 50265,48 * (24 + 20)}{2 * \sin 12} = 2127519,73 \text{ N.mm}$$

$$T_{roz} = 2127519,73 \text{ N.mm} > T_5 = 237050 \text{ N.mm}$$

BALIO DU

3.5. DIFERENTZIALA OSATZEN DUTEN ELEMENTUEN DIMENTSIONAMENDUA

Diferentziala honako elementu hauek osatzen dute: planetario bi, satellite bi, pinoia eta koroa. Elementu guzti hauek hagin zuzendun gurpil konikoak izango dira, eta elkarrekiko 90 gradutara ezarrita egongo dira. Modulua $m = 5$ mm. DIN 780 araua erabiliko da.



Elementu hauen dimentsioak honako ekuazioen bidez kalkulatuko dira:

Angelu primitiboa:

$$\operatorname{tg} \theta_1 = i$$

$$\operatorname{tg} \theta_2 = \frac{1}{i}$$

Addendumaren angeluaren kalkulua:

$$a_k = \theta_k - \theta = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{2 * \sin \theta}{Z}$$

Deddendumaren angeluaren kalkulua:

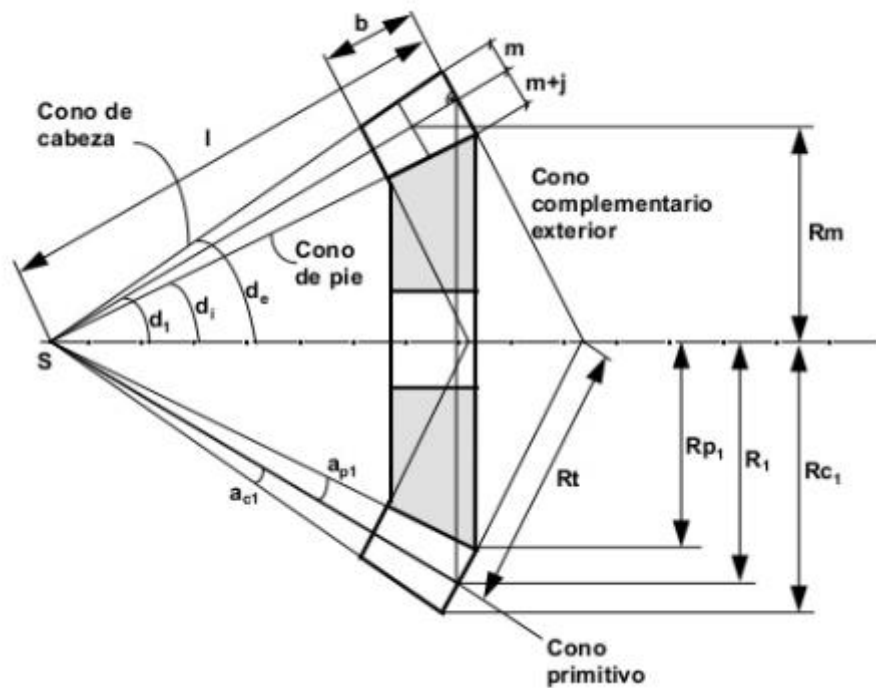
$$a_f = \theta - \theta_f = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{2,5 * \sin \theta}{Z}$$

Haginen zabalera:

$$b = \psi * m$$

Erradio primitiboa:

$$R = \frac{m * Z}{2}$$



Buruaren erradioa:

$$R_k = \frac{m * Z}{2} + m * \cos \theta$$

Azpiko erradioa:

$$R_f = \frac{m * Z}{2} - 1,25 * m * \cos \theta$$

3.5.1. Sateliteen dimentsioak

$$i = \frac{Z_s}{Z_p} = \frac{15}{17} = 0,88$$

$$\theta_1 = \arctg i = 41,41^\circ$$

$$a_k = \arctg \frac{2 * \sin 41,41^\circ}{15} = 5,04^\circ$$

$$a_f = \arctg \frac{2,5 * \sin 41,41^\circ}{15} = 6,29^\circ$$

$$b = \psi * m = 10 * = 50 \text{ mm}$$

$$R = \frac{m * Z}{2} = \frac{5 * 15}{2} = 37,5 \text{ mm}$$

$$R_k = \frac{m * Z}{2} + m * \cos \theta = \frac{5 * 15}{2} + 5 * \cos 41,41^\circ = 41,25 \text{ mm}$$

$$R_f = \frac{m * Z}{2} - 1,25 * m * \cos \theta = \frac{5 * 15}{2} - 1,25 * \cos 41,41^\circ = 36,56 \text{ mm}$$

3.5.2. Planetarioen dimentsioak

$$i = \frac{Z_s}{Z_p} = \frac{15}{17} = 0,88$$

$$\theta_1 = \arctg \frac{1}{0,88} = 48,59^\circ$$

$$a_k = \arctg \frac{2 * \sin 48,59^\circ}{17} = 5,04^\circ$$

$$a_f = \arctg \frac{2,5 * \sin 48,59^\circ}{17} = 6,29^\circ$$

$$b = \psi * m = 10 * 5 = 50 \text{ mm}$$

$$R = \frac{m * Z}{2} = \frac{5 * 17}{2} = 42,5 \text{ mm}$$

$$R_k = \frac{m * Z}{2} + m * \cos \theta = \frac{5 * 17}{2} + 5 * \cos 48,59^\circ = 45,81 \text{ mm}$$

$$R_f = \frac{m * Z}{2} - 1,25 * m * \cos \theta = \frac{5 * 17}{2} - 1,25 * \cos 48,59^\circ = 41,67 \text{ mm}$$

3.5.3. Pinoiaren dimentsioak

Pinoiak 12 hortz izango dituela kontsideratuko da.

$$i = \frac{Z_{koroa}}{Z_{pinoia}} = \frac{49}{12} = 4,083$$

$$\theta_1 = \arctg \frac{1}{4,083} = 13,76^\circ$$

$$a_k = \arctg \frac{2 * \sin 13,76^\circ}{12} = 2,27^\circ$$

$$a_f = \operatorname{arctg} \frac{2,5 * \sin 13,76^\circ}{12} = 2,84^\circ$$

$$b = \psi * m = 10 * 5 = 50 \text{ mm}$$

$$R = \frac{m * Z}{2} = \frac{5 * 12}{2} = 30 \text{ mm}$$

$$R_k = \frac{m * Z}{2} + m * \cos \theta = \frac{5 * 12}{2} + 5 * \cos 13,76^\circ = 34,86 \text{ mm}$$

$$R_f = \frac{m * Z}{2} - 1,25 * m * \cos \theta = \frac{5 * 12}{2} - 1,25 * 5 * \cos 13,76^\circ = 23,93 \text{ mm}$$

3.5.4. Koroaren dimentsioak

$$i = \frac{Z_{koroa}}{Z_{pinoia}} = \frac{49}{12} = 4,083$$

$$\theta_1 = \operatorname{arctg} 4,083^\circ = 76,24^\circ$$

$$a_k = \operatorname{arctg} \frac{2 * \sin 76,24^\circ}{49} = 2,27^\circ$$

$$a_f = \operatorname{arctg} \frac{2,5 * \sin 76,24^\circ}{49} = 2,84^\circ$$

$$b = \psi * m = 10 * 5 = 50 \text{ mm}$$

$$R = \frac{m * Z}{2} = \frac{5 * 49}{2} = 122,5 \text{ mm}$$

$$R_k = \frac{m * Z}{2} + m * \cos \theta = \frac{5 * 49}{2} + 5 * \cos 76,24^\circ = 123,70 \text{ mm}$$

$$R_f = \frac{m * Z}{2} - 1,25 * m * \cos \theta = \frac{5 * 49}{2} - 1,25 * 5 * \cos 76,24^\circ = 121,01 \text{ mm}$$

3.5.5. Pinoiaren ildoen luzera

Ardatz sekundarioa eta diferentzialaren pinoia lotzeko ildoak erabiltzen dira. Ildo hauen bidez lotura oso sendoa lortu behar da, bertatik momentu bihurtzaile handia transmitituko baita. DIN 5480 araua jarraituz, ildoen luzera honako formula honen bidez lortzen da:

$$L_t = K * \frac{F_u}{h * P * z}$$

Non:

Z = Hagin kopurua

L_t = Ildoen luzera

F_u = Ardatzean dagoen indar tangenziala

h = Haginen altuera

P = Presioa artekan = 100 N/mm² hartuko da

K = Sostengu faktorea (1,35 Decker-ek “*Elementos de máquinas*”-en esaten duenez)

25 mm-ko diametroa duen ardatz batetik abiatuta ($R_{prim} = 12,5$ mm) eta modulu bezala 1,75 hartuta indar tangenziala kalkulatu da:

$$F_u = \frac{T}{R_{prim}} = \frac{962,5 \text{ N/m}}{0,0125 \text{ m}} = 77000 \text{ N}$$

Datu horiekin (ardatzaren diametroa eta modulu) DIN 5480 arauaren tauletara joanda:

d_B mm	Number of teeth z for module m													
	0,5	0,6	0,75	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	4	5	6
25	48	40	32	30	24	18	15	13	11	8	7			

$Z = 13$ dela ikus daiteke. Honekin:

$$L_t = K * \frac{F_u}{h * P * z} = 1,35 * \frac{77000 \text{ N}}{1,75 \text{ mm} * 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 13} = 45,70 \approx 50 \text{ mm}$$