

14. GAIA: ERRODAMENDUAK

1. SARRERA

Errodamenduak, errodadurako kojinetekak ere deitzen direnak, ardatz edo bestelako elementu birakariak euskarri dira. Euskarri horietara iristen diren kargak euskarri-egiturara transmititzen dira eraztunen eta errodamenduen elementu birakariak bidez. Elementu birakari horiek bolak edo arrabolak izan daitezke. Bola-errodamenduak, oro har, ardatzaren biraketa-abiadura handiko aplikazioetan erabiltzen dute: boleak kontaktu puntuala dute eraztunen pistekin, eta, beraz, arrabolek baino erresistentzia txikiagoa errodadurarekiko. Horrek marruskadura txikiagoa eragiten du, eta, ondorioz, biratzean bero gutxiago sortzen da. Horren ondorioz, abiadura handian biratzen dira, gehiegi berotu gabe; horren truke, ukipen puntualak karga-kapazitate txikiagoa eragiten du. Oro har, arrabolen errodamenduak karga handien eraginean dauden aplikazioetan erabiltzen dira: bola-errodamenduek baino ukipen-azalera handiagoa dutenez, karga-kapazitate handiagoa dute, baina, ordaintan, bero gehiago sortzen da, eta, beraz, biraketa-abiadura txikiagoa da.

Errodamenduak estandarizatuta daude, eta hauen ekoizleen katalogoetatik aukeratu dira. Errodamendu bat aukeratzeko orduan, bi dira errodamenduak bete behar dituen oinarrizko baldintza funtzionalak: alde batetik, errodamenduak espazio jakin batean sartu behar du; bestetik, gai izan behar du gutxieneko iraupen eta fidagarritasun batekin jasaten dituen kargak jasateko. Gainera, errodamendu batek, funtzionatzen ari den bitartean, kolpeak, azelerazioak, bibrazioak, korrosio, zikinkeria, hezetasuna, tenperatura eta abarren kontrako ingurumen-baldintzak jasango ditu.

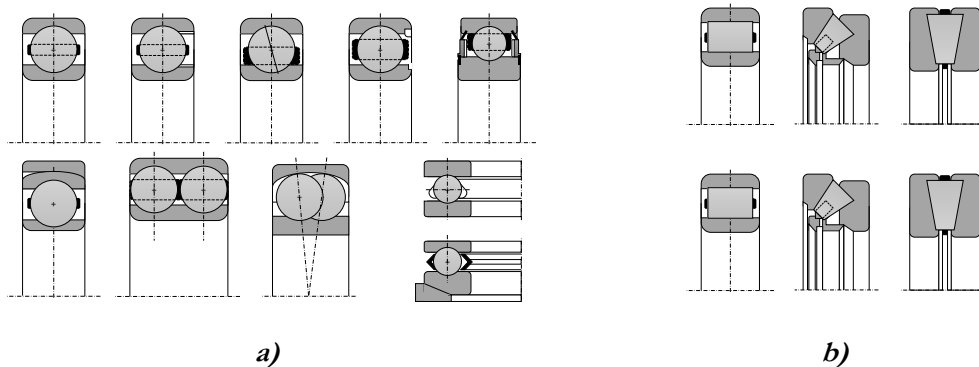
Errodamendu bat lau oinarrizko osagaik osatzen dute (ikusi 1. irudia): barneko eraztuna, kanpoko eraztuna, elementu birakariak eta “kaiola” edo bereizlea (azken hori ez da ezinbestekoa). Batzuetan, zigilatze eraztun moduko bat jartzen da (“seal ring”), elementu birakariak estaltzen dituen, errodamenduaren bizitza laburtzen duen zikinkeria sar ez dadin.

Dokumentuko errekurtsio grafiko eta irudi denak egileek dira, askeak dira edo/eta baimenduta erabili dira.

1. irudia. Errodamendu baten osagaiak. Irudia ondorengo estekan sartuta ikus daiteke:

<https://www.skf.com/ar/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/general-bearing-knowledge/bearing-basics/components-and-materials>

Errodamendu-mota ugari daude merkatuan: 2. irudian, ohikoenak azaltzen dira. Errodamendu mota bakoitzaren ezaugarri bereziak ezagutzeko, fabrikatzaileen katalogoak kontsultatzea da egokiena (ikus 3. irudia).



2. irudia. Errodamendu mota batzuk: a) bolazkoak b) arrabolezkoak. Egileen irudia.

Erodamendu motak																	
	Bolen errodamendu zurrunik	Kontaktu angeluarreko bolen erro.	Kontaktu angeluarreko bola-ilara bikotzeko erro.	Kontaktu angeluarreko bolen erro. bikotzean	Bolen errodamendu autolekotsuak	Arabol zilindrikoen erro.	Erdatz bokatuko arabol zilindrikoen erro.	Erdatz bikotzeko arabol zilindrikoen erro.	Arabol zilindrikoen bola-ilara bikotzeko erro.	Orratzen erro.	Arabol konikoen erro.	Arabol koniko 2 eta 4 ilarako erro.	Arabol esferiko erro.	Bolen errodamendu axialak	Kontaktu angeluarreko bola-ilara bikotzeko erro. axialak	Arabol zilindrikoen erro. axialak	Arabol esferiko erro. axialak
Ezaugarriak																	
Karga-ahainen jasangarria (← axiala), (↑ erradiale)	←↑→	←↑	←↑→	←↑→	←↑→	↑	↑→	←↑→	↑	↑	←↑	←↑→	←↑→	←	←	←↑	Karga-ahainen jasangarria (← axiala), (↑ erradiale)
Habiadura handia (1)	****	****	**	****	**	****	****	****	****	****	****	**	**	*	*	*	Habiadura handia (1)
Erotazio-dotasun handia (1)	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	*	*	*	*	*	Erotazio-dotasun handia (1)
Zarata txikia / bibrazioa (1)	****	****	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Zarata txikia / bibrazioa (1)
Marruskadura pare txikia (1)	****	****	**	**	**	**	**	**	**	**	**	****	****	****	****	****	Marruskadura pare txikia (1)
Zurruntasun handia (1)								**	**	**	****	****	****	****	****	****	Zurruntasun handia (1)
Talka erresistentzia / bibrazioa (1)		*	*	*	*	**	**	**	**	**	****	****	****	****	****	****	Talka erresistentzia / bibrazioa (1)
Eratunek baimendutako deslerrotatzea bar./kan. (1)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	****	+	+	+	Eratunek baimendutako deslerrotatzea bar./kan. (1)
Finkoa norabide axialean (2)	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	Finkoa norabide axialean (2)
Mugikorra norabide axialean (3)	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	Mugikorra norabide axialean (3)
Barruko/kanpoko eraztun bereizgarriak (4)	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	Barruko/kanpoko eraztun bereizgarriak (4)
Eraztunaren barne-dimetro konikoa (5)																	Eraztunaren barne-dimetro konikoa (5)

3. irudia. Errodamendu mota batzuen ezaugarri nagusiak. Egileen taula.

2. ERRODAMENDUEN BIZITZA

Elementu birakariak errodamenduaren eraztunen pisten gainean errodatzean, karga aldakorrak sartzen dituzte errodamenduan, eta nekeak eragingo du hutsegitea. Errodamenduak nekeagatik huts egiten duela esaten da nekearen lehen sintomak agertzen direnean, eta ez hutsegite katastrofikoa gertatzen denean. Adibidez, Timken ekoizlearentzat nekeak eragindako hutsegitea “0,01 hazbete karratuko pistak koskatuta” daudenean gertatzen da. Hori gertatzen denean, errodamenduak dar-dar egiten du eta/edo zarata egiten du; errodamenduak puntu horretatik haratago funtzionatzen jarrai badezake ere, nekeagatik huts egin duela uste da, funtzionamendu-baldintzak ezin hobek izateari utzi diolako.

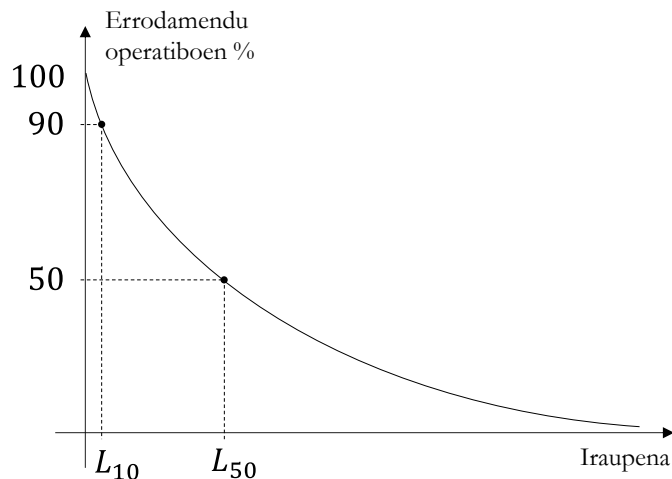
Errodamendu baten bizitza barne-eraztunak (kanpo-eraztuna finko duela) osatutako biraketa-kopurua da, nekearen lehen sintoma horiek agertu arte. Nekearen fenomenoak berez duen dispersio handia dela eta, ez da nahikoa errodamendu bakar bat probatzea, baizik eta horietako batzuk probatzea. Hala, “Bizitza nominala (L_{10})” honela definitzen da: barne-eraztunak osatzen duen biraketa-kopurua (kanpoko eraztun finkoa izanik), lehenengo neke-sintomak errodamendu berdinen talde baten %90ean ez direnean agertzen (hau da, %90eko FIDAGARRITASUNA, $R=0,9$). Halaber, “Bizitza ertaina (L_{50})” barne-eraztunaren biraketa-kopurua da (kanpo-eraztun finkoa egonik), eta ez dira agertzen lehenengo neke-sintomak errodamendu berdinen talde baten % 50ean (FIDAGARRITASUNA: $R = 0,5$). L_{10} bizitza nominala erabili ohi da L_{50} bizitza ertainaren kalterako, eta haren balioa milioika biratan kuantifikatzen da.

4. irudian grafiko bat ageri da. Grafiko horretan, fidagarritasun (R) desberdinei dagozkien bizitzak edo iraupenak (L) azaltzen dira. Irudikoaren (saiakuntzen bidez lortutakoa) arabera, edozein R fidagarritasuni dagokion L iraupena $R = 0,9$ fidagarritasunari dagokion L_{10} iraupenarekin erlaziona daiteke, bolazko errodamenduetarako eta arrabol zilindrikoetarako adierazpen honen bidez:

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

Eta arrabol konikodun errodamenduetarako:

$$L_{10} = \frac{L}{4,48 \cdot \left[\ln \left(\frac{1}{R} \right) \right]^{\frac{1}{1,5}}} \quad (2)$$

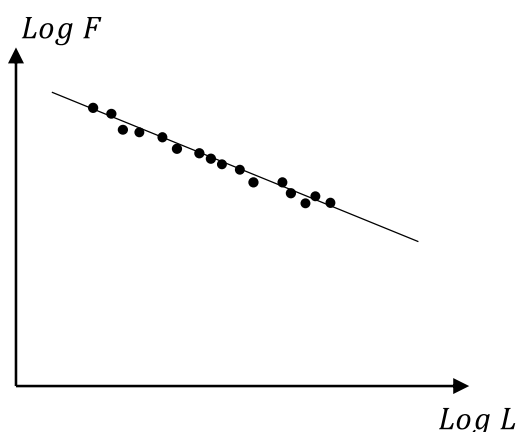


4. irudia. Errodamendu mota batzuen ezaugarri nagusiak. Egileen irudia.

Labainketa-baldintzek, materialaren neke-mugak, errodamendu-motak, ingurumen-baldintzek eta abarrek eragin erabakigarria dute errodamenduaren iraupenean. Alde horretatik, fabrikatzaileen katalogoek L_{10} balioa aldatzen duten faktoreak ematen dituzte, fenomeno horien guztien eragina kontuan hartzeko. Ikasmaterial honetan ez dira faktore horiek erabiliko, ez baitira orokorrak; ekoizle bakoitzak bere propioak ditu eta.

Lehenengo neke-sintomak ager daitezten, jakina, errodamenduak kargatuta egon behar du. Jakina, L_{10} bizitza nominala aldatu egiten da aplikatutako karga-balioaren arabera; zenbat eta F karga handiagoa aplikatu, orduan eta txikiagoa da L_{10} . Grafiko logaritmiko batean F kargaren arabera L_{10} iraupena irudikatuz (ikus 5. irudia), hutsegite-puntuak (saiakuntzetatik lortutakoak) ekuazio honi erantzuten dion zuzen batera hurbiltzen dira:

$$F \cdot (L_{10})^{1/a} = cte \quad (3)$$



5. irudia. F karga aplikatuaren eta L_{10} bizitza nominalaren arteko erlazioa (eskala logaritmikoan). Egileen irudia.

$a=3$ bolazko errodamenduetarako eta $a=10/3$ arraboldun errodamenduetarako.

C karga-kapazitate dinamiko gisa definitzen da L_{10} iraupeneko balio jakin bati dagokion F karga-balioa, milioi bat bira egiten dituen. Nolanahi ere, fabrikatzaileak argi eta garbi adierazi behar du L_{10} -ren zer baliori dagokion bere katalogoan ageri den C kapazitatea. $L = 1$ milioi bira denean, C honela kalkulatu litzateke:

$$F \cdot (L_{10})^{1/a} = cte \rightarrow C \cdot 1^{1/a} = C = F \cdot (L_{10})^{1/a} \quad (4)$$

C-ren balio horrekin sartzen da katalogoan, eta errodamendu egokia aukeratzen da. Honela jokatu behar da: Demagun L milioi biratan F karga bat jasan behar duen errodamendu bat aukeratu nahi dugula, R fidagarritasun jakin batekin. Lehenik, L_{10} iraupena lortzen da (1) edo (2) ekuazioaren bidez R fidagarritasunari dagokion L iraupenetik abiatuta; bigarrenik, C kapazitatea kalkulatu da (4) formularen bidez; azkenik, katalogotik C balio bereko edo handiagoko errodamendu bat aukeratzen da.

Orokorrean, errodamenduak funtzionamendu-bizitzan zehar jasan behar duen F karga karga-handipeneko faktore baten bidez handitzen da, errodamendua zein aplikazio-motatarako erabiliko den kontuan hartuta. 1. taulak balio tipikoak adierazten ditu.

APLIKAZIOA	KARGA-HANDITZE FAKTOREA
Doitasunezko engranajeak	1,0-1,1
Engranaje komertzialak	1,1-1,3
Errodamendu pobreko zigilatze bidezko aplikazioa	1,2
Talkarik gabeko makinak	1,0-1,2
Talka arinak dituzten makinak	1,2-1,5
Talka ertaineko makinak	1,5-3,0

1. taula. F-ren handizkatze-faktorearen balio gomendatuak C-ren kalkulurako. Egileen taula.

L₁₀ iraupenari dagokionez, eskatutako iraupenari buruzko daturik ez dagoenez, fabrikatzaileek taula orientagarriak ere ematen dituzte, hala nola 2. taulakoa, gomendatutako balioekin.

APLIKAZIOA	L ₁₀ IRAUPEN GOMENDATUA (ordutan)
Elektrizitate-tresnak	1000-2000
Hegazkin-motorrak	1000-4000
Autoak	1500-5000
Nekazaritza makinak	3000-6000
Igogailuak, haize-sorgailu industrialak, erabilera anitzeko transmisioak	8000-15000
Motor elektrikoak, makina industrialak orokorrean	20000-30000
Bonbak eta konpresoreak	40000-60000
Makina kritikoak funtzionamenduan 24 ordu/egunean	100000-200000

2. taula. L10-ren balio gomendatuak. Egileen taula.

Ondoren, zehatzago azalduko ditugu praktikan oso erabiliak diren hiru errodamendu mota hautatzeko urratsak: bolazko errodamenduak, arrabol zilindrikodun errodamenduak eta arrabol konikodun errodamenduak.

3. BOLAZKO ETA ARRABOL ZILINDRIKODUN ERRODAMENDUAK HAUTATZEA

6a irudiko boladun errodamenduek karga axialak eta/edo erradialak jasan ditzakete; 6b irudiko arraboldunek, berriz, karga erradialak bakarrik absorba ditzakete (karga axialaren pean, desmuntatu egin daitezke).



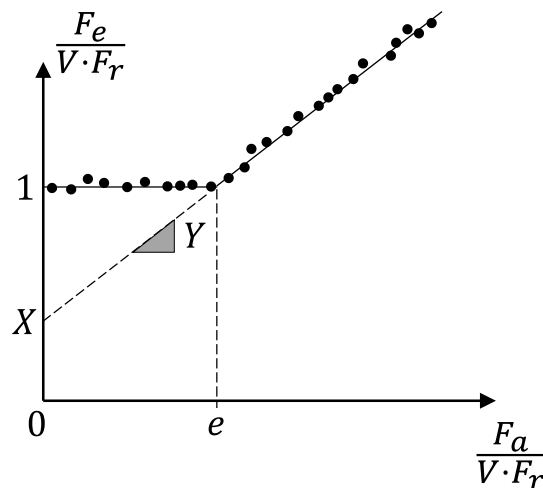
a)

b)

6. irudia. Errodamenduak: a) bolazkoa b) arrabol zilindrikoduna. Egileen irudia.

Aurreko atalean aurkeztutako $C = F \cdot (L_{10})^{1/a}$ formulak, F indar erradial hutsa da. Errodamenduak aldi berean F_a karga axial bat eta F_r karga erradial bat jasaten baditu, F_e karga erradial baliokidea definitzen da. F_e karga erradial baliokide hori errodamenduaren F_r - F_a konbinazioaren nekearekiko guztiz baliokidea da. Hau da F_e -ren adierazpena, 7. irudiko emaitza esperimentalen arabera:

$$F = F_e = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a \tag{5}$$



7. irudia. Emaitza esperimentalak; horietatik abiatuta lortzen da F_e -ren formula. Egileen irudia.

V errotazio-faktorea da: bere balioa 1 da barne-eraztuna biratzen denean, eta 1.2 kanpo-eraztuna biratzen denean. X eta Y -ren balioak 3. taulatik lortzen dira. Taulan, e parametroa F_a/C_0 -ren balioaren arabera da, non F_a baita errodamendua jasaten duen indar axiala, eta C_0 , berriz, errodamenduaren kapazitate estatikoa (haren balioa, C kapazitate dinamikoaren antzera, fabrikatzailearen katalogoetan adierazita dago).

F_a/C_0	e	$F_a/(V \cdot F_r) \leq e$		$F_a/(V \cdot F_r) > e$	
		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

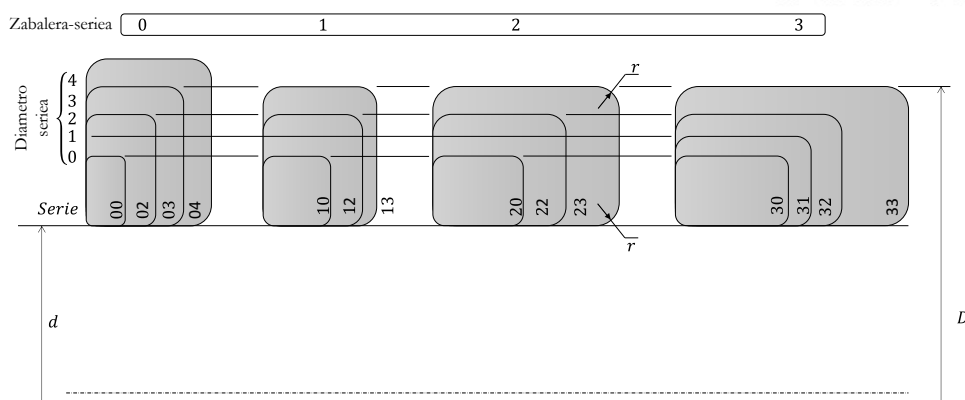
*Usar 0,014 si $F_a/C_0 < 0,014$

3. taula. X eta Y balioak, Fe karga erradial baliokidea kalkulatzeko. Egileen taula.

C_0 kapazitate estatikoa, errodadura-elementu eta pistaren arteko kontaktu-eremuan gehienez 4.000 MPa-ko presioa garatzeko behar den karga estatikoa da. Balio horretarako errodamenduaren hutsegite estatikoa gertatzen dela jotzen da, eta, beraz, $C_0 > X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a$ izan behar du errodamenduak bere bizitzako aldiuneren batean jasan ahal izateko. Kontuan izan behar da C_0 parametro hori guztiz sekundarioa dela errodamendua hautatzeko kalkuluetan: X eta Y kalkulatzeko erabiltzen da, F_e formularako, eta, horren bidez, C kapazitatea kalkulatu da, parametro hori erabiltzen baita azkenean errodamendua hautatzeko. Izan ere, errodamenduak huts egiten du nekearen ondorioz, eta, beraz, errodamendua hautatzeko funtsezko parametroa C karga-kapazitate dinamikoa da.

Hala ere, badira oso biraketa kopuru mugatuak dituzten aplikazioetan erabiltzen diren errodamenduak eta abiadura txikikoak, hala nola, eraikuntza-garabiak, aerosorgailuak, hondeamakinak, eguzki-jarraitzaileak eta abar. Iraulketa-errodamendu izeneko errodamendu horietan, hutsegitea estatikoa da, ez nekekoa. Kasu horietan, errodamenduaren hautapena (gutxienez hasierako hautapena) C_0 -ren bidez egiten da, C-ren ordez.

Errodamenduak aukeratzean, serieen arabera ordenatuta egoten dira katalogoetan. Orokorrean, lehenengo zenbakia zabalera seriea da, bigarrena diametro seriea, 8. irudian adierazten den bezala. Izan ere, errodamendua hautatzeko orduan, karga-kapazitatearen arabera ez ezik, dimentsioen arabera ere egin behar da.



8. irudia. Zabalera eta diametro serieak. Egileen irudia.

4. taulan, SKF fabrikatzailearen 02 serieko arteka sakoneko bola-errodamenduak (deep groove) eta kontaktu angeluarra (contact angle) dituen katalogo-orria jaso da. 5. taula fabrikatzaile beraren 02 eta 03 serieetako arrabol zilindrikoen errodamenduetarako da. Katalogoek tamaina eta kapazitate ugari dituzte eskuragarri.

BARNE DIÁM.	KANPO DIÁM.	ZABA-LERA	AKORDIO ERRADIOA	SORBALDA DIAMETROA		KARGA KAPAZITATEA			
						Arteka sakoneko errodamendua		Kontaktu angeluarreko errodamendua	
				d_s	d_H	C_{10}	C_0	C_{10}	C_0
10	30	9	0,6	12,5	27	5,07	2,24	4,94	2,12
12	32	10	0,6	14,5	28	6,89	3,10	7,02	3,05
15	35	11	0,6	17,5	31	7,80	3,55	8,06	3,65
17	40	12	0,6	19,5	34	9,56	4,50	9,95	4,75
20	47	14	1,0	25	41	12,7	6,20	13,3	6,55
25	52	15	1,0	30	47	14,0	6,95	14,8	7,65
30	62	16	1,0	35	55	19,5	10,0	20,3	11,0
35	72	17	1,0	41	65	25,5	13,7	27,0	15,0
40	80	18	1,0	46	72	30,7	16,6	31,9	18,6
45	85	19	1,0	52	77	33,2	18,6	35,8	21,2
50	90	20	1,0	56	82	35,1	19,6	37,7	22,8
55	100	21	1,5	63	90	43,6	25,0	46,2	28,5
60	110	22	1,5	70	99	47,5	28,0	55,9	35,5
65	120	23	1,5	74	109	55,9	34,0	63,7	41,5
70	125	24	1,5	79	114	61,8	37,5	68,9	45,5
75	130	25	1,5	86	119	66,3	40,5	71,5	49,0
80	140	26	2,0	93	127	70,2	45,0	80,6	55,0
85	150	28	2,0	99	136	83,2	53,0	90,4	63,0
90	160	30	2,0	104	146	95,6	62,0	106	73,5
95	170	32	2,0	110	156	108	69,5	121	85,0

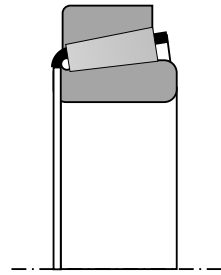
4. taula. SKF fabrikatzailearen 02 serieko bolazko errodamenduak dituen katalogo-orria (dimentsioak mm-tan eta kapazitateak kN-tan). Egileen taula.

BARNE DIÁM.	SERIE 02				SERIE 03			
	KANPO DIÁM.	ZABA- LERA	KARGA KAPAZITATEA		KANPO DIÁM.	ZABA- LERA	KARGA KAPAZITATEA	
			C ₁₀	C ₀			C ₁₀	C ₀
25	52	15	16,8	8,8	62	17	28,6	15,0
30	62	16	22,4	12,0	72	19	36,9	20,0
35	72	17	31,9	17,6	80	21	44,6	27,1
40	80	18	41,8	24,0	90	23	56,1	32,5
45	85	19	44,0	25,5	100	25	72,1	45,4
50	90	20	45,7	27,5	110	27	88,0	52,0
55	100	21	56,1	34,0	120	29	102	67,2
60	110	22	64,4	43,1	130	31	123	76,5
65	120	23	76,5	51,2	140	33	138	85,0
70	125	24	79,2	51,2	150	35	151	102
75	130	25	93,1	63,2	160	37	183	125
80	140	26	106	69,4	170	39	190	125
85	150	28	119	78,3	180	41	212	149
90	160	30	142	100	190	43	242	160
95	170	32	165	112	200	45	264	189
100	180	34	183	125	215	47	303	220
110	200	38	229	167	240	50	391	304
120	215	40	260	183	260	55	457	340
130	230	40	270	193	280	58	539	408
140	250	42	319	240	300	62	682	454
150	270	45	446	260	320	65	781	502

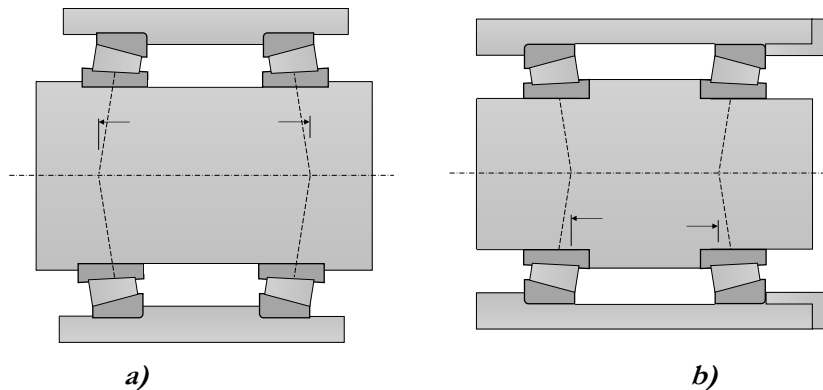
5. taula. SKF fabrikatzailearen 02 eta 03 serieetako arrabol zilindrikodun errodamenduak dituen katalogo-orria (dimentsioak mm-tan eta kapazitateak kN-tan). Egileen taula.

4. ARRABOL KONIKODUN ERRODAMENDUAK HAUTATZEA

9. irudiko arrabol konikodun errodamenduek karga axialak eta/edo erradialak jasan ditzakete. Hala ere, garrantzitsua da nabarmentzea karga axialak noranzko batean bakarrik jasan ditzaketela: izan ere, 9. irudiko barne-eraztuna norabide axialean eskuinerantz mugitzen bada, errodamendua desmuntatu egiten da, hau da, norabide horretan karga axiala jasateko kapazitaterik ez du. Horregatik, arrabol konikoak dituzten muntaketetan, bi errodamendu erabiltzen dira beti: “bizkarra” (zeharkako muntaketa, 10a irudia) edo “aurpegia” (zuzeneko muntaketa, 10b irudia); hala, errodamendu bakoitzak karga axiala jasaten du noranzko batean.



9. irudia. Arrabol konikodun errodamendua. Egileen irudia.

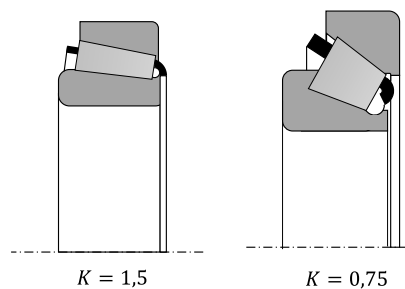


10. irudia. Arrabol konikodun errodamenduak dituzten muntaketak: a) ez zuzena b) zuzena. Egileen irudia.

Errodamendu mota horren berezitasun garrantzitsu bat karga erradialak karga axial bat eragiten duela da. Izan ere, kanpo-eraztuna indar erradial batekin “konprimatzen” badugu, kanpoko eraztunak “irteteko” joera du, errodamenduaren konikotasunak eragindako indar axialaren eraginez. F_r indar erradial baten kasuan, hau da F_a indar axial induzitua:

$$F_a = \frac{0,47 \cdot F_r}{K} \quad (6)$$

K faktorea errodamenduaren geometriaren araberakoa da, eta haren balioa katalogoetan adierazten da. Lehenengo hautapen baterako, $K=1,5$ edo $K=0,75$ har daiteke konoaren inklinazioaren arabera, 12. irudian adierazten den bezala.



11. irudia. K balioak, arrabol konikodun errodamenduaren lehen hautaketa egiteko. Egileen irudia.

Hala, 10. irudiko muntaketa aztertzen bada (bietako edozein), ardatzak indar axial bat du, hau da, F_{ae} kanpoko indar axialaren emaitza, A errodamenduaren F_{rA} indar erradialak eragindako $0,47 F_{rA}/K_A$ indar axiala eta F_r indar erradialak eragindako $0,47 F_{rB}/K_B$ indar axiala. Indar axial horren norabidearen arabera, A edo B errodamenduak absorbatuko du. Bereizketa horretan oinarrituta, 6. taulan ageri dira A (ezkerrekoa) eta B (eskuinekoa) errodamenduetako karga erradial baliokidea kalkulatzeko urratsak, P_A eta P_B gisa adieraziak. P_A eta P_B karga horiekin, C-ren balioak lortzen dira errodamenduak hautatzeko.

BULTZADA-KONDIZIOA	BULTZADA-KARGA	KARGA DINAMIKO ERRADIAL BALIOKIDEA
$\frac{0,47 \cdot F_{rA}}{K_A} \leq \frac{0,47 \cdot F_{rB}}{K_B} - mF_{ae}$	$F_{aA} = \frac{0,47 \cdot F_{rB}}{K_B} - mF_{ae}$	$P_A = 0,4 \cdot F_{rA} + K_A \cdot F_{aA} *$
	$F_{aB} = \frac{0,47 \cdot F_{rB}}{K_B}$	$P_B = F_{rB} *$
$\frac{0,47 \cdot F_{rA}}{K_A} > \frac{0,47 \cdot F_{rB}}{K_B} - mF_{ae}$	$F_{aA} = \frac{0,47 \cdot F_{rA}}{K_A}$	$P_A = F_{rA} *$
	$F_{aB} = \frac{0,47 \cdot F_{rA}}{K_A} + mF_{ae}$	$P_B = 0,4 \cdot F_{rB} + K_B \cdot F_{aB} *$
* $P_A < F_{rA}$ bada, erabili $P_A = F_{rA}$; $P_B < F_{rB}$ bada, erabili $P_B = F_{rB}$		
Muntaketa zuzena bada, erabili $m=1$; muntaketa ez-zuzena bada, erabili $m=-1$		
Barne-eraztunean aplikatutako F_{ae} karga axiala bada, F_{ae} eskuinerantz positiboa da, eta F_{ae} ezkererantz negatiboa.		
Kanpoko eraztunean aplikatutako F_{ae} karga axiala bada, F_{ae} eskuinerantz negatiboa da, eta F_{ae} ezkererantz positiboa.		

6. taula. Arrabol konikodun errodamenduetan karga erradial baliokidea kalkulatzeko urratsak. Egileen taula.

7. taulan, Timken fabrikatzailearen arrabol konikodun errodamenduen katalogo-orria jaso da. Ekoizle horrentzat, C karga-kapazitate dinamikoa 90 milioi birako L_{10} iraupenerako definitzen da; beraz, (4) ekuazioaren antzera, adierazpen hau erabili behar da:

$$C \cdot 90^{1/a} = P_A \cdot (L_{10})^{1/a} \text{ (A errodamendua)} \quad (7a)$$

$$C \cdot 90^{1/a} = P_B \cdot (L_{10})^{1/a} \text{ (B errodamendua)} \quad (7b)$$

Barne diametroa.	Kanpo diametroa	Zabalera	L ₁₀		Faktorea
d	D	T	erradiala	bultzada	K
mm	mm	mm	N	N	-
25,000	52,000	16,250	8190	5260	1,56
25,000	52,000	19,250	9520	9510	1,00
25,000	52,000	22,000	13200	7960	1,66
25,000	62,000	18,250	13000	6680	1,95
25,000	62,000	25,250	17400	8930	1,95
25,159	50,005	13,495	6990	4810	1,45
25,400	50,005	13,495	6990	4810	1,45
25,400	50,005	13,495	6990	4810	1,45
25,400	50,292	14,224	7210	4620	1,56
25,400	50,292	14,224	7210	4620	1,56
25,400	51,994	15,011	6990	4810	1,45
25,400	56,896	19,368	10900	5740	1,90
25,400	57,150	19,431	11700	10900	1,07
25,400	58,738	19,050	11600	6560	1,77
25,400	59,53	23,368	13900	13000	1,07
25,400	60,325	19,842	11000	6550	1,69
25,400	61,912	19,050	12100	7280	1,67
25,400	62,000	19,050	12100	7280	1,67
25,400	62,000	19,050	12100	7280	1,67
25,400	62,000	19,050	12100	7280	1,67
25,400	62,000	20,638	12100	7280	1,67
25,400	63,500	20,638	12100	7280	1,67
25,400	63,500	20,638	12100	7280	1,67
25,400	64,292	21,433	14500	13500	1,07
25,400	65,088	22,225	13100	16400	0,8
25,400	66,421	23,812	18400	8000	2,3
25,400	68,262	22,225	15300	10900	1,4
25,400	72,233	25,400	18400	17200	1,07
25,400	72,626	30,162	22700	13000	1,76
26,157	62,000	19,050	12100	7280	1,67
26,162	63,100	23,812	18400	8000	2,3
26,162	66,421	23,812	18400	8000	2,3
26,975	68,738	19,050	11600	6560	1,77
26,988	50,292	14,224	7210	4620	1,56
26,988	60,325	19,842	11000	6550	1,69
26,988	62,000	19,050	12100	7280	1,67

$L_1+L_2+L_3$ milioi biratan aplikatzen den F_{eq} karga erradial baliokide bat definitzen da, D kalte total bera eragiten duena:

$$D = F_{eq}^a \cdot (L_1 + L_2 + L_3) \quad (9)$$

(8) eta (9) adierazpenak berdinduz:

$$F_{eq} = \sqrt[a]{F_{e1}^a \cdot \frac{L_1}{(L_1+L_2+L_3)} + F_{e2}^a \cdot \frac{L_2}{(L_1+L_2+L_3)} + F_{e3}^a \cdot \frac{L_3}{(L_1+L_2+L_3)}} \quad (10)$$

Eta F_{eq} hori erabiltzen da errodamendua hautatzeko beharrezkoa den C kapazitatea lortzeko:

$$C = F_{eq} \cdot (L_{10})^{1/a} \text{ (Catálogo SKF)} \quad (11a)$$

$$C \cdot 90^{1/a} = F_{eq} \cdot (L_{10})^{1/a} \text{ (Catálogo Timken)} \quad (11b)$$

6. ERRODAMENDUEN BESTE ALDERDI GARRANTZITSU BATZUK

Ongi hautatzeaz gain, errodamenduaren funtzionamendu egokirako oinarrizko beste alderdi batzuk ere badaude, hala nola lubrifikazioa, lerrokatzea eta muntatzea.

Garrantzitsua denez, fabrikatzaileen katalogoek alderdi horiei buruzko atalak eskaintzen dituzte, eta oinarrizko ideiak eta gomendioak azaltzen dituzte, ondoren aipatzen direnak bezalakoak.

6.1 Lubrifikazioa

Lubrifikazioak film bat sartzen du errodadura-pista eta kontaktu-gainazalen artean. Hauek dira lubrifikazioaren helburu nagusiak:

- Kontaktuan marruskadura murriztea (eta, horrekin batera, higadura eta beroa)
- Beroa banatzen eta ateratzen laguntzea.
- Kontaktu-gainazalen korrosioari aurrea hartzea
- Errodamenduaren osagaiak babestea zikinkeria sartzen denean

Lubrifikatzaile nagusiak olioia eta koipea dira. Koipea olioia baino gehiago erabiltzen da, eta %85 olio mineralez eta %15 lodigarriz osatuta dago (litioz, kaltzioz eta sodioz osatua). Koipedun lubrifikazio-sistema batean, marruskadura hidrodinamikoaren ondoriozko galerak minimizatzen dira, eta funtzionamendu-tenperaturak baxu mantendu daitezke. Funtzionamendu-abiadura handia bada, koipearen bizitza erabilgarria laburtu egiten da, eta

baliteke olioarekin lubrifikatu behar izatea. Oro har, 8. taulak horietako bakoitza noiz erabili adierazten du.

Olioarekin lubrifikatzeko metodoei dagokienez, mota asko daude, aplikazio bakoitzaren beharren arabera: olio-bainua, olio-zirkulazioa, tantakako zirkulazioa, zipriztinekoa, olio-lainoa...

LUBRIFIKAZIOA KOIPEAREKIN	LUBRIFIKAZIOA OLIOAREKIN
Errodamendu itxia eta lubrifikatua	Errodamendu ez itxia
Tenperatura ertainean eta biraketa-abiadura baxuan edo ertainean erabiltzea	Tenperatura eta biraketa-abiadura handietan erabiltzea
Onurak	Onurak
Funtzionamendu egokia karga handiekin	Hozketa ona
Iraupen luzea	Lubrifikatzailearen banatze ona
Desabantailak	Zikina ateratzen uzten du
Ez du beroa ateratzen	Desabantailak
Portaera txarra zikintasuna eta hezetasunaren aurrean	Bizitza erabilgarri motzagoa
Lubrifikatzailearen banatze txarra	Karga txikiagoak onartzen ditu

8. taula. Errodamenduetan koipea eta olio lubrifikatzaile gisa erabiltzeko gomendioak.

Egileen taula.

6.2 Lerrokatzea

Lerrokadurarik eza fabrikatzaileek emandako balioetara mugatzen da. Errodamenduaren kokalekuetan ardatzaren gehiegizko maldak asko murrizten du haren bizitza. 9. taulan balio orientagarri batzuk ageri dira (9. gaian adierazitako taula).

	Malda maximo onargarria
Arrabol konikodun errodamenduak	0.0005-0.0012 rad
Arrabol zilindrikodun errodamenduak	0.0008-0.0012 rad
Artezketa sakoneko boladun errodamenduak	0.001-0.003 rad
Kontaktu angeluarreko boladun errodamenduak	0.026-0.052 rad

9. taula. Ardatzetako malden ohiko balio onargarriak. Egileen taula.

6.3 Muntaia

Fabrikatzaileen katalogoek errodamenduak muntatzeko xedapenei buruzko azalpen zehatzak ematen dituzte. Ohikoena da ardatza bi euskarritan egotea, mutur bakoitzean errodamendu baten bidez; halakoetan, karga axiala errodamendu bakar batek jasan behar du. Batzuetan, bi Makinen Diseinua

Mikel Abasolo, Edurne Iriondo eta Javier Corral

18



errodamendu jartzen dira puntu berean, euskarri horretan zurruntasuna edo karga-kapazitatea handitzeko. 13. irudiak katalogo batean gomendatutako xedapenak erakusten ditu. Ikus, adibidez, 13. irudiko lehen muntaketa. Bi errodamenduak arteka sakoneko bolak izan arren eta, beraz, karga axiala absorbatzeko gaitasuna badute ere, horietako bat (eskuinekoa) axialki libre mugitu daiteke, kanpoko eraztuna ez baitago albo batean ahokatuta ahokalekuan; horren ondorioz, muntaketa horretan eskuineko errodamenduak ardatzerako euskarri lerragarri gisa lan egiten du, eta ezkerreko errodamenduak euskarri finko gisa. 13. irudiko xedapen guztiek antzera lan egiten dute, eta euskarri finko bat eta euskarri lerragarri bat sortzen dira.

Egokitzapenari dagokionez, egokiena da errodamenduak presio doitzera izatea, bai barneko eraztunean bai kanpoaldean. Hala ere, oso zaila da hori praktikan lortzea; izan ere, eraztunetako bat presioan doitu ohi da, eta bestea lasaiera txiki batekin uzten da; gomendatzen da presiopean muntatzen den eraztuna izatea karga erradiala bere inguruan biraka ikusten duena. Doitze-perdoiak fabrikatzailearen katalogoan bertan gomendatzen dira.

Antolamendua		Iruzkinek	Aplikazioak
Finkoa	Irristagarria		
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Makina txikienezko antolaketa orokorra. 2. Karga erradialeko baina karga axialak ere baditu. 	Ponpa txikiak, automobilak, transmisioak, etab.
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Egokia, muntaia-erroreak eta ardatzaren deflexioak oso txikiak direnean edo abiadura handiko aplikazio birakarietarako direnean. 2. Ardatzaren hedapena edo uzkurdua egon arren, alde irristagarria eraz mugitzen da. 	Taimana ertaineko motor elektrikoak, haizagailuak, etab.
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Karga erradialak eta axialak onartzen ditu bi norabideetan. 2. Ukipen angeluarreko bola itxien errodamenduen orde, oso erabiliak dira kontaktu angeluarreko bolen ilara bikoitzeko errodamenduak. 	Erreduktoreen torloju amaigabeak
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Karga handiak onartzeko gai da. 2. Multzoaren zurruntasuna areagotu egiten da bi errodamendu finkoak bizkarrarekiko kokapenean kargatzean. 3. Akabera-zehaztasun handiko ardatzak eta ostatuak eta muntaia-akats minimoak behar ditu. 	Industria orokorrerako murriztaileen engranajeak
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Ardatzaren deflexioak eta doikuntza-erroreak ahalbidetzen ditu. 2. Torloju edo sorbaldarik gabeko ardatz luzeetan muntatzeko mahuka bat erabiliz, errodamenduak muntatzea eta desmuntatzea erraztu daiteke. 3. Bolen errodamendu autolerrokagarriak ez dira egokiak ardatz-direkzioko kargak jasateko. 	Makineria industrialia, oro har
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Makina industrialetan, oro har, asko erabiltzen dira, eta karga astunak eta talka-kargak dituzte. 2. Ardatzeko deflexioak eta muntaia-erroreak egiteko aukera ematen du. 3. Karga erradialak onartzen ditu, baina norabide bikoitzeko karga axialak ere. 	Industria orokorrerako murriztaileen engranajeak
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Karga erradialak eta axialak onartzen ditu bi norabideetan. 2. Egokia da, bi eraztun horiek estu-estu doitu behar direnean. 	Makineria industrialerako, oro har murriztaileen engranajeak
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Karga axial eta erradial handiak jasateko gai izatea, errota-abiadura handiekin. 2. Errodamenduaren kanpo-diametroaren eta errodamenduaren barne-diametroaren artean lasaiera bat mantentzen du, bolen errodamendu zurrunk karga erradialak jaso ez ditzan. 	Lokomotorak diesel bidez transmititzea

Antolamendua		Iruzkinek	Aplikazioak
Finkoa	Irristagarria		
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Makina txikietan erabiltzen den antolaketa orokor bat da. 2. Altzagarri eta malgukiekin kargatzen da kanpoko eraztunaren aurpegian (alde flotatzailean izan daiteke). 	Motor elektrikoak, engranaje-erreduktoreak, etab.
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Bizkarrak bizkarrarekin jartzea hobe da aurrez aurre jartzea baino, karga une batez aplikatzen denean. 2. Karga axial axialak eta erradialak jasateko gai da; egokiak dira abiadura handiak daudenean. 3. Ardatzaren zurruntasuna handitu egin daiteke aurrekargaren eraginez. 	Abiadura handiko makina-erremintak, etab.
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Talka-karga eta karga estra astunak jasateko gai da. 2. Egokia da barneko eta kanpoko eraztuneko doikuntza estua behar badute. 3. Operazioan zehar joko axiala oso txikia ez izatea zaindu behar da. 	Eraikuntzako ekipoa, meatzaritzako ekipoa, erroldanak, irabiagailuak, etab.
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Karga astunak eta inpaktu-kargak jasaten dituzte. Aplikazio-tarte zabalak dute. 2. Ardatzaren zurruntasuna aurrekargatzean hobetzen da, baina aurrekarga horrek ez du gehiegizkoa izan behar. 3. Bizkarrak bizkarrarekin jartzea une batez kargatzeko da, eta aurrez aurre jartzea doikuntza-akatsak arintzeko da. 4. Aurrez aurre jarrita, kanpoko eraztuna estu-estu doitzea errazten da. 	Erreduktoreak, autoen aurreko gurpilak, etab.



13. irudia. Errodamenduen katalogo batean gomendatutako muntaketa motak. Egileen taula.