

Diseño de las partes adyacentes

Ajustes · Asientos de los rodamientos

Las partes adyacentes

Dependiendo de su función los rodamientos han de fijarse en el eje y en el alojamiento en los sentidos radial, axial y tangencial. Una fijación radial y tangencial se consigue a través de un cierre de fuerza, es decir, por un ajuste fijo del aro del rodamiento. La fijación axial se consigue mediante un cierre de forma, p. e. tuercas, tapas del alojamiento, tapas del eje, anillos distanciadores o elásticos.

Ajustes, asientos de los rodamientos

Las tolerancias ISO para ejes y alojamientos (ISO 286) y las tolerancias para agujero (Δ_{dmp}) y diámetro exterior (Δ_{Dmp}) de los rodamientos (DIN 620) en conjunto constituyen el ajuste. Las tolerancias ISO están divididas por campos de tolerancia. Vienen definidas según su posición hacia la línea cero (= posición de tolerancia) y su magnitud (= calidad de tolerancia, ver tabla página 102). La posición de la tolerancia se designa por letras (mayúsculas para alojamientos, minúsculas para ejes). El esquema de la página 103 representa los ajustes más usuales para los rodamientos.

Para la elección de los ajustes se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- Los aros de los rodamientos deben asentarse bien a lo largo de toda su periferia para aprovechar totalmente la capacidad de carga del rodamiento.
- Los aros no deben tener movimientos relativos de giro con las partes adyacentes, para que los asientos no se deterioren.
- Uno de los aros del rodamiento libre debe adaptarse a las variaciones longitudinales de eje y alojamiento, es decir debe ser desplazable en dirección axial. Solamente con los roda-

mientos de rodillos cilíndricos N y NU este desplazamiento tiene lugar dentro del rodamiento.

- El montaje y el desmontaje de los rodamientos debe ser fácil.

Para poder cumplir las primeras dos exigencias, los aros interior y exterior de los rodamientos radiales básicamente deben recibir un ajuste fijo. Esto, sin embargo, no puede realizarse – al menos en un aro - si el rodamiento libre (ver apartado “disposición de los rodamientos”, página 24) debe poderse desplazar en sentido axial o si se quieren montar o desmontar rodamientos no despiezables. Entonces es decisivo cuál de los aros recibe carga puntual o carga circunferencial. Se permite un ajuste holgado (eje según g y alojamiento según G, H, o J) para el aro cuya carga está constantemente dirigida al mismo punto (carga puntual). El otro aro, que gira con relación a la dirección de la carga (carga circunferencial), generalmente debe recibir un ajuste fijo. En la página 104 se representa un esquema sobre las condiciones de carga y de movimiento.

En los rodamientos de rodillos cilíndricos N y NU, puede preverse un ajuste fijo para ambos aros, porque las dilataciones pueden absorberse en el rodamiento y se pueden montar los aros por separado.

Cuando hay que contar con cargas de mayor importancia, sobre todo con golpes, deberá elegirse un apriete de ajuste mayor y tolerancias de forma más estrechas.

Con los ajustes fijos y un gradiente de temperatura entre los aros interior y exterior disminuye el juego radial de los rodamientos. Esto deberá tenerse en cuenta al determinar el grupo de juego radial (ver apartado “Juego de los rodamientos”, página 74).

Diseño de las partes adyacentes

Ajustes · Asientos de los rodamientos

Recomendaciones para el mecanizado de los asientos de los rodamientos

El grado de precisión para las tolerancias de diámetro de los asientos de los rodamientos en el eje y el alojamiento pueden encontrarse en las tablas “Recomendaciones para el mecanizado de los asientos de los rodamientos”, en la página 103, y “Tolerancias básicas ISO”, en la página 102.

Los grados de precisión para las tolerancias de cilindricidad de las superficies de ajuste (t_1 y t_3) y para el salto axial de los resaltes (t_2 y t_4) debe ser un grado IT más ajustado que el correspondiente a las tolerancias de diámetro.

Las tolerancias de posición, t_5 y t_6 , para un segundo asiento de rodamiento en el eje y el alojamiento – expresado por la coaxialidad según DIN ISO1101 – deben determinarse en función de la capacidad de adaptabilidad angular del rodamiento (ver los textos precedentes a las tablas de rodamientos).

Desalineaciones por deformación elástica del eje y el soporte también deberán ser consideradas.

Para alcanzar las tolerancias de cilindricidad t_1 y t_3 , recomendamos utilizar los siguientes valores para las distancias medidas:

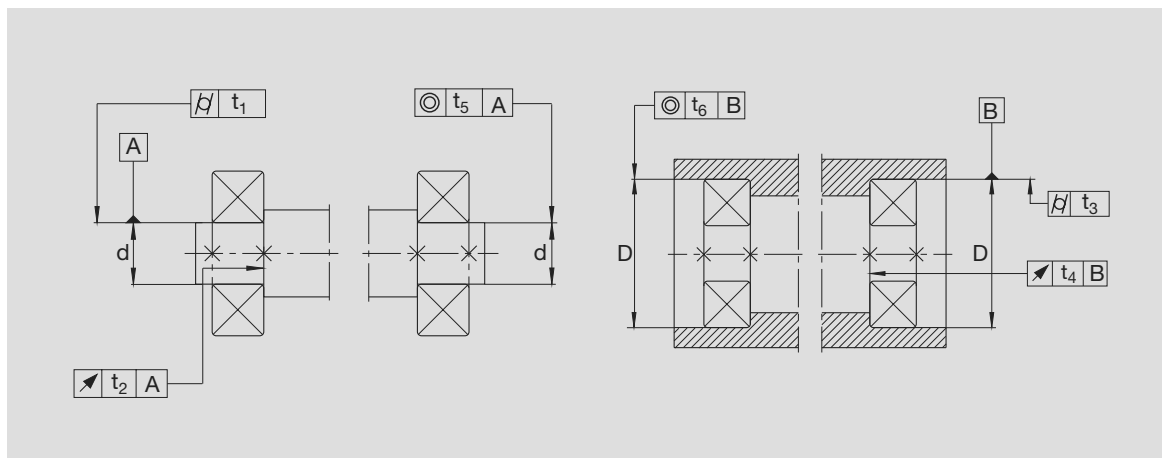
Planitud $0.8 \cdot t_1$ y $0.8 \cdot t_3$

Circularidad $0.8 \cdot t_1$ y $0.8 \cdot t_3$

Paralelismo $1.6 \cdot t_1$ y $1.6 \cdot t_3$

Los rodamientos con agujero cónico se montan directamente sobre el eje cónico o sobre manguitos de montaje o desmontaje. El ajuste fijo del aro interior no se determina por la tolerancia del eje, como en el caso de agujeros cilíndricos, sino por el desplazamiento axial sobre el eje cónico.

Para los asientos de manguitos de montaje y desmontaje se permiten mayores tolerancias de los diámetros que para asientos de agujeros cilíndricos; las tolerancias de forma deben ser más estrechas que las de los diámetros.



Diseño de las partes adyacentes

Ajustes · Asientos de los rodamientos

▼ Tolerancias básicas ISO (calidades IT) según DIN ISO 286

Dimensiones nominales en mm

más de hasta	1 3	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 250	250 315	315 400	400 500	500 630	630 800	800 1000	1000 1250	1250 1600	1600 2000	2000 2500	2500 3150
--------------	--------	--------	---------	----------	----------	----------	----------	-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Valores en μm

IT0	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6									
IT1	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8									
IT2	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10									
IT3	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15									
IT4	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20									
IT5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	29	32	36	42	50	60	70	86	
IT6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	44	50	56	66	78	92	110	135	
IT7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	70	80	90	105	125	150	175	210	
IT8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97	110	125	140	165	195	230	280	330	
IT9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	175	200	230	260	310	370	440	540	
IT10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250	280	320	360	420	500	600	700	860	
IT11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400	440	500	560	660	780	920	1100	1350	
IT12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630	700	800	900	1050	1250	1500	1750	2100	

Ajustes para los aros de rodamientos axiales

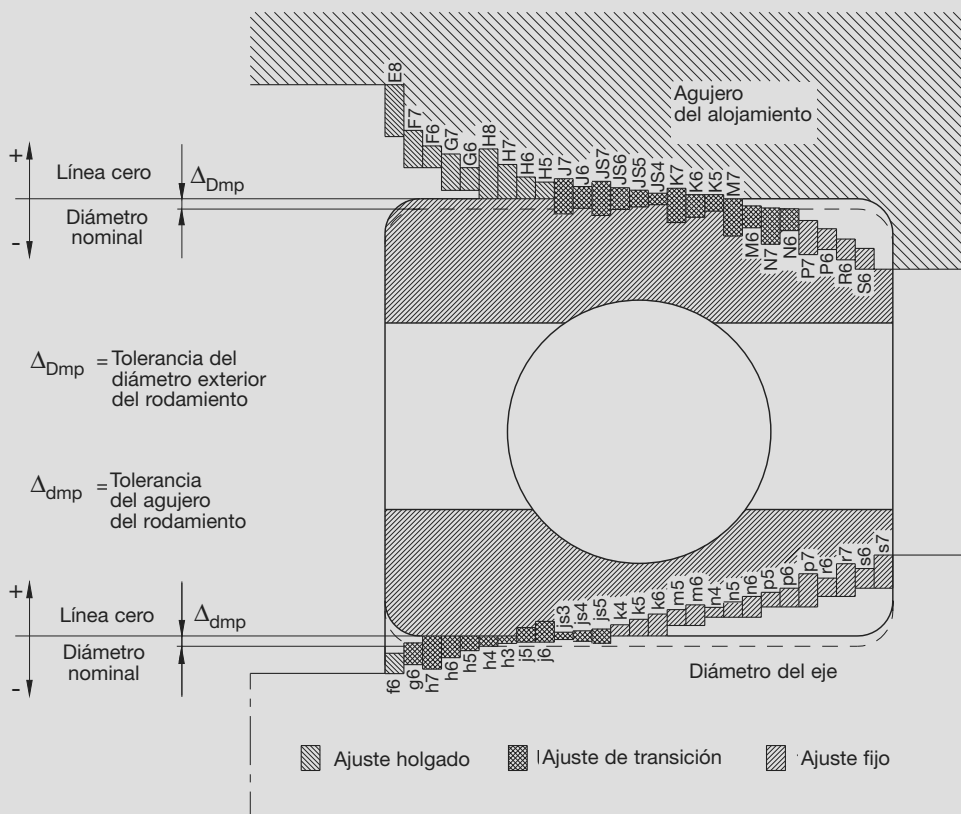
Los rodamientos axiales que solamente absorben cargas axiales, no deben guiarse en dirección radial (excepción: rodamientos axiales de rodillos cilíndricos que disponen de un grado de libertad debido a que las pistas de rodadura son planas). Dado que los rodamientos con pistas de rodadura en forma de ranura, por ejemplo los rodamientos axiales de bolas, no tienen este grado de libertad, hay que crearlo a través de un ajuste holgado del aro en reposo. El aro que gira suele recibir un asiento fijo. Si los rodamientos axiales han de absorber cargas radiales además de las cargas axiales, por ejemplo los rodamientos axiales oscilantes de rodillos, se elegirán los mismos ajustes que para los rodamientos radiales.

Las superficies de contacto de las partes adyacentes han de estar en posición vertical respecto al eje en rotación (tolerancia de ortogonalidad según IT5 o mejor), para que la carga se reparta uniformemente sobre todos los elementos rodantes.

Diseño de las partes adyacentes

Ajustes · Asientos de los rodamientos · Rugosidad

▼ Ajustes principales para rodamientos



▼ Recomendaciones para la tolerancia de mecanizado y la rugosidad de los asientos de los rodamientos

Clases tolerancias rodamientos	Asientos rodamientos	Tolerancia mecanizado	Rugosidad
Normal, P6X	Eje	IT6 (IT5)	N5...N7
	Alojamiento	IT7 (IT6)	N6...N8
P5	Eje	IT5	N5...N7
	Alojamiento	IT6	N6...N8
P4, P4S, SP	Eje	IT4	N4...N6
	Alojamiento	IT5	N5...N7
UP	Eje	IT3	N3...N5
	Alojamiento	IT4	N4...N6

Las clases de rugosidad mayores se eligen para diámetros mayores.

Rugosidad de los asientos de los rodamientos

La rugosidad de los asientos de los rodamientos ha de adaptarse a la clase de tolerancias de los rodamientos. El valor medio de la rugosidad R_a no debe ser demasiado grande para mantener la pérdida por sobremedida en un nivel aceptable. Los valores de recomendados para la rugosidad corresponden a DIN 5425, edición 11.84.

▼ Clases de rugosidad según DIN ISO 1302

Clase de rugosidad	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10
Valor medio de rugosidad R_a	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5
Profundidad de la rugosidad $R_z \approx R_t$	1	1,6	2,5	6,3	10	25	40	63

Diseño de las partes adyacentes

Ajustes · Asientos de los rodamientos

▼ Diferencias entre carga circunferencial y carga puntual

Condiciones de giro	Ejemplo	Esquema	Caso de carga	Ajuste
El aro interior gira El aro exterior permanece inmóvil El sentido de la carga permanece invariable	Eje cargado con un peso	 Peso	Carga circunferencial para el aro interior y	Aro interior: ajuste fijo necesario
El aro interior permanece inmóvil El aro exterior gira El sentido de la carga gira con el aro exterior	Apoyo de un cubo de rueda con gran desequilibrio	 Desequilibrio	Carga puntual para el aro exterior	Aro exterior se permite ajuste holgado
Condiciones de giro	Ejemplo	Esquema	Caso de carga	Ajuste
El aro interior permanecerá inmóvil El aro exterior gira El sentido de la carga permanece invariable	Rueda delantera de un automóvil Rodillo (Apoyo de un cubo de rueda)	 Peso	Carga puntual para el aro interior y	Aro interior: se permite ajuste holgado
El aro interior gira El aro exterior permanece inmóvil El sentido de la carga gira con el aro interior	Centrifuga Criba vibratoria	 Desequilibrio	Carga circunferencial para el aro exterior	Aro exterior ajuste fijo necesario

Tablas para tolerancias y ajustes

En las páginas 105 y 114 se indican recomendaciones para la elección de las tolerancias de ejes y alojamientos.

Los valores indicados para los ajustes (tablas en las páginas 106 a 120) valen para ejes macizos de acero y para alojamientos de fundición. Encabezando las tablas se indican debajo de las medidas nominales de los diámetros, las tolerancias normales del agujero del rodamiento o del diámetro exterior para rodamientos radiales (salvo de los rodamientos de rodillos cónicos). Debajo se encuentran los límites superior e inferior de los campos de tolerancias más importantes para el montaje de rodamientos.

En cada casilla hay cinco números según el siguiente esquema:

Lado pasa	+6	18	Apriete u holgura, caso de coincidir los lados pasa
Eje Ø 40 j5		10	Apriete u holgura probables
lado no pasa	-5	5	Apriete u hogural, caso de coincidir los lados no pasa

Números **impresos en negrita** indican apriete
 Números impresos de forma normal en la columna de la derecha indican holgura

Como valor probable de apriete u holgura se indica el valor que se obtiene cuando las medidas reales están a un tercio de la tolerancia desde el lado pasa.



Diseño de las partes adyacentes

Tolerancias de los ejes

Rodamientos radiales con agujero cilíndrico				
Tipo de carga	Tipo de rodamiento	Diámetro del eje	Desplazabilidad axial Carga	Tolerancia
Carga puntual para el aro interior	Rodamientos de bolas y de rodillos	Todas las dimensiones	Rodamientos libres con aro interior desplazable	g6 (g5)
			Rodamientos de bolas de contacto angular y de rodillos cónicos, con aros interiores ajustados	h6 (j6)
Carga circunferencial para el aro interior o carga indeterminada	Rodamientos de bolas	hasta 40 mm	Carga normal	j6 (j5)
		hasta 100 mm	Carga pequeña	j6 (j5)
			Carga normal y elevada	k6 (k5)
		hasta 200 mm	Carga pequeña	k6 (k5)
			Carga normal y elevada	m6 (m5)
		más 200 mm	Carga normal	m6 (m5)
			Carga elevada, golpes	n6 (n5)
		Rodamientos de rodillos	hasta 60 mm	Carga pequeña
	Carga normal y elevada			k6 (k5)
	hasta 200 mm		Carga pequeña	k6 (k5)
			Carga normal	m6 (m5)
			Carga elevada	n6 (n5)
	hasta 500 mm		Carga normal	m6 (n6)
		Carga elevada, golpes	p6	
más de 500 mm	Carga normal	n6 (p6)		
	Carga elevada	p6		
Rodamientos axiales				
Tipo de carga	Tipo de rodamiento	Diámetro del eje	Condiciones de servicio	Tolerancia
Carga axial	Rodamientos axiales de bolas	Todas las dimensiones		j6
	Rodamientos axiales de bolas de doble efecto	Todas las dimensiones		k6
	Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos	Todas las dimensiones		h6 (j6)
	Coronas axiales de rodillos cilíndricos	Todas las dimensiones		h8
Carga combinada	Rodamientos axiales oscilantes de rodillos	Todas las dimensiones	Carga puntual para el aro ajustado al eje	j6
		hasta 200 mm	Carga circunferencial para el aro ajustado al eje	j6 (k6)
		más de 200 mm		k6 (m6)



Diseño de las partes adyacentes

Ajuste de los ejes

		Dimensiones mm											
Medida nominal del eje	más de hasta	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 65						
		Tolerancia en micras (0.001 μm) (tolerancia normal)											
Diferencia del agujero del rodamiento	Δ_{dmp}	0 -8	0 -8	0 -8	0 -10	0 -12	0 -15						
Esquema del ajuste Eje		Tolerancia del eje, apriete u holgura en micras (0.001 μm)											
Eje		Tolerancia del eje, apriete u holgura en micras (0.001 μm)											
f6		-10 -18	2 8 18	-13 -22	5 11 22	-16 -27	8 15 27	-20 -33	10 17 33	-25 -41	13 22 41	-30 -49	15 26 49
g5		-4 -9	4 0 9	-5 -11	3 2 11	-6 -14	2 3 14	-7 -16	3 3 16	-9 -20	3 5 20	-10 -23	5 4 23
g6		-4 -12	4 1 12	-5 -14	3 3 14	-6 -17	2 4 17	-7 -20	3 5 20	-9 -25	3 6 25	-10 -29	5 6 29
h5		0 -5	8 4 5	0 -6	8 3 6	0 -8	8 3 8	0 -9	10 4 9	0 -11	12 4 11	0 -13	15 6 13
h6		0 -8	8 3 8	0 -9	8 2 9	0 -11	8 2 11	0 -13	10 2 13	0 -16	12 3 16	0 -19	15 4 19
j5		+3 -2	11 7 2	+4 -2	12 7 2	+5 -3	13 8 3	+5 -4	15 9 4	+6 -5	18 10 5	+6 -7	21 12 7
j6		+6 -2	14 8 2	+7 -2	15 9 2	+8 -3	16 10 3	+9 -4	19 11 4	+11 -5	23 14 5	+12 -7	27 16 7
js5		+2,5 -2,5	11 6 3	+3 -3	11 6 3	+4 -4	12 6 4	+4,5 -4,5	15 9 5	+5,5 -5,5	18 10 6	+6,5 -6,5	22 13 7
js6		+4 -4	12 7 4	+4,5 -4,5	13 7 5	+5,5 -5,5	14 8 6	+6,5 -6,5	17 9 7	+8 -8	20 11 8	+9,5 -9,5	25 13 10
k5		+6 +1	14 9 1	+7 +1	15 10 1	+9 +1	17 12 1	+11 +2	21 15 2	+13 +2	25 17 2	+15 +2	30 21 2
k6		+9 +1	17 11 1	+10 +1	18 12 1	+12 +1	20 14 1	+15 +2	25 17 2	+18 +2	30 21 2	+21 +2	36 25 2
m5		+9 +4	17 13 4	+12 +6	20 15 6	+15 +7	23 18 7	+17 +8	27 21 8	+20 +9	32 24 9	+24 +11	39 30 11
m6		+12 +4	20 15 4	+15 +6	23 17 6	+18 +7	26 20 7	+21 +8	31 23 8	+25 +9	37 27 9	+30 +11	45 34 11

Ejemplo: Eje Ø 40 j5

Lado pasa	+6	18	Apriete u holgura, caso de coincidir los lados pasa
Lado no pasa	-5	10 5	Apriete u holgura probable
			Apriete u holgura, caso de coincidir los lados no pasa
			los números impresos en negrita indican apriete
			los números impresos de modo normal en la columna derecha indican holgura



65		80		100		120		140		160		180		200		225	
80		100		120		140		160		180		200		225		250	
0		0		0		0		0		0		0		0		0	
-15		-20		-20		-25		-25		-25		-30		-30		-30	
-30	15	-36	16	-36	16	-43	18	-43	18	-43	18	-50	20	-50	20	-50	20
-49	49	-58	58	-58	58	-68	68	-68	68	-68	68	-79	79	-79	79	-79	79
-10	5	-12	8	-12	8	-14	11	-14	11	-14	11	-15	15	-15	15	-15	15
-23	4	-27	4	-27	4	-32	3	-32	3	-32	3	-35	2	-35	2	-35	2
	23		27		27		32		32		32		35		35		35
-10	5	-12	8	-12	8	-14	11	-14	11	-14	11	-15	15	-15	15	-15	15
-29	6	-34	6	-34	6	-39	6	-39	6	-39	6	-44	5	-44	5	-44	5
	29		34		34		39		39		39		44		44		44
0	15	0	20	0	20	0	25	0	25	0	25	0	30	0	30	0	30
-13	6	-15	8	-15	8	-18	11	-18	11	-18	11	-20	13	-20	13	-20	13
	13		15		15		18		18		18		20		20		20
0	15	0	20	0	20	0	25	0	25	0	25	0	30	0	30	0	30
-19	4	-22	6	-22	6	-25	8	-25	8	-25	8	-29	10	-29	10	-29	10
	19		22		22		25		25		25		29		29		29
+6	21	+6	26	+6	26	+7	32	+7	32	+7	32	+7	37	+7	37	+7	37
-7	12	-9	14	-9	14	-11	18	-11	18	-11	18	-13	20	-13	20	-13	20
	7		9		9		11		11		11		13		13		13
+12	27	+13	33	+13	33	+14	39	+14	39	+14	39	+16	46	+16	46	+16	46
-7	16	-9	19	-9	19	-11	22	-11	22	-11	22	-13	26	-13	26	-13	26
	7		9		9		11		11		11		13		13		13
+6,5	22	+7,5	28	+7,5	28	+9	34	+9	34	+9	34	+10	40	+10	40	+10	40
-6,5	13	-7,5	16	-7,5	16	-9	20	-9	20	-9	20	-10	23	-10	23	-10	23
	7		8		8		9		9		9		10		10		10
+9,5	25	+11	31	+11	31	+12,5	38	+12,5	38	+12,5	38	+14,5	45	+14,5	45	+14,5	45
-9,5	13	-11	17	-11	17	-12,5	21	-12,5	21	-12,5	21	-14,5	25	-14,5	25	-14,5	25
	10		11		11		13		13		13		15		15		15
+15	30	+18	38	+18	38	+21	46	+21	46	+21	46	+24	54	+24	54	+24	54
+2	21	+3	26	+3	26	+3	32	+3	32	+3	32	+4	37	+4	37	+4	37
	2		3		3		3		3		3		4		4		4
+21	36	+25	45	+25	45	+28	53	+28	53	+28	53	+33	63	+33	63	+33	63
+2	25	+3	31	+3	31	+3	36	+3	36	+3	36	+4	43	+4	43	+4	43
	2		3		3		3		3		3		4		4		4
+24	39	+28	48	+28	48	+33	58	+33	58	+33	58	+37	67	+37	67	+37	67
+11	30	+13	36	+13	36	+15	44	+15	44	+15	44	+17	50	+17	50	+17	50
	11		13		13		15		15		15		17		17		17
+30	45	+35	55	+35	55	+40	65	+40	65	+40	65	+46	76	+46	76	+46	76
+11	34	+13	42	+13	42	+15	48	+15	48	+15	48	+17	56	+17	56	+17	56
	11		13		13		15		15		15		17		17		17

Diseño de las partes adyacentes

Ajuste de los ejes

		Dimensiones en mm																										
Medida nominal del eje	más de hasta	250 280	280 315	315 355	355 355	355 400	400 400	400 450	450 450	450 500	450 500																	
		Tolerancia en micras (0.001 μm) (tolerancia normal)																										
Diferencia del agujero del rodamiento	Δ_{dmp}	0 -35	0 -35	0 -40	0 -40	0 -40	0 -40	0 -45	0 -45	0 -45	0 -45																	
Esquema del ajuste Eje	Δ_{dmp} - 0 +	Tolerancia del eje, apriete u holgura en micras (0.001 μm)																										
		f6		g5		g6		h5		h6		j5		j6		js5		js6		k5		k6		m5		m6		
		-56 -88	21 88	-56 -88	21 88	-62 -98	22 98	-62 -98	22 98	-68 -108	23 108	-68 -108	23 108															
		-17 -40	18 40	-17 -40	18 40	-18 -43	22 43	-18 -43	22 43	-20 -47	25 47	-20 -47	25 47															
		-17 -49	18 49	-17 -49	18 49	-18 -54	22 54	-18 -54	22 54	-20 -60	25 60	-20 -60	25 60															
		0 -23	35 23	0 -23	35 23	0 -25	40 25	0 -25	40 25	0 -27	45 27	0 -27	45 27															
		0 -32	35 32	0 -32	35 32	0 -36	40 36	0 -36	40 36	0 -40	45 40	0 -40	45 40															
		+7 -16	42 23 16	+7 -16	42 23 16	+7 -18	47 25 18	+7 -18	47 25 18	+7 -20	52 28 20	+7 -20	52 28 20															
		+16 -16	51 29 16	+16 -16	51 29 16	+18 -18	58 33 18	+18 -18	58 33 18	+20 -20	65 37 20	+20 -20	65 37 20															
		+11,5 -11,5	47 27 12	+11,5 -11,5	47 27 12	+12,5 -12,5	53 32 13	+12,5 -12,5	53 32 13	+13,5 -13,5	59 35 14	+13,5 -13,5	59 35 14															
		+16 -16	51 29 16	+16 -16	51 29 16	+18 -18	58 33 18	+18 -18	58 33 18	+20 -20	65 37 20	+20 -20	65 37 20															
		+27 +4	62 43 4	+27 +4	62 43 4	+29 +4	69 47 4	+29 +4	69 47 4	+32 +5	77 53 5	+32 +5	77 53 5															
		+36 +4	71 49 4	+36 +4	71 49 4	+40 +4	80 55 4	+40 +4	80 55 4	+45 +5	90 62 5	+45 +5	90 62 5															
		+43 +20	78 59 20	+43 +20	78 59 20	+46 +21	86 64 21	+46 +21	86 64 21	+50 +23	95 71 23	+50 +23	95 71 23															
		+52 +20	87 65 20	+52 +20	87 65 20	+57 +21	97 72 21	+57 +21	97 72 21	+63 +23	108 80 23	+63 +23	108 80 23															

Ejemplo: Eje Ø 560 m6

Lado pasa	+70	120	Apriete u holgura, caso de coincidir los lados pasa
Lado no pasa	+26	88	Apriete u holgura probable
		26	Apriete u holgura, caso de coincidir los lados no pasa.

los números **impresos en negrita** indican apriete
 los números impresos de modo normal en la columna derecha indican holgura



500		560		630		710		800		900		1000		1120		1250	
560		630		710		800		900		1000		1120		1250		1600	
0		0		0		0		0		0		0		0		0	
-50		-50		-75		-75		-100		-100		-125		-125		-160	
-76	26	-76	26	-80	5	-80	5	-86	14	-86	14	-98	27	-98	27	-110	50
-120	58	-120	58	-130	47	-130	47	-146	39	-146	39	-164	38	-164	38	-188	29
	120		120		130		130		146		146		164		164		188
-22	28	-22	28	-24	51	-24	51	-26	74	-26	74	-28	97	-28	97	-30	130
-51	1	-51	1	-56	15	-56	15	-62	29	-62	29	-70	41	-70	41	-80	60
	51		51		56		56		62		62		70		70		80
-22	28	-22	28	-24	51	-24	51	-26	74	-26	74	-28	97	-28	97	-30	130
-66	4	-66	4	-74	9	-74	9	-82	24	-82	24	-94	33	-94	33	-108	41
	66		66		74		74		82		82		94		94		108
0	50	0	50	0	75	0	75	0	100	0	100	0	125	0	125	0	160
-29	23	-29	23	-32	39	-32	39	-36	55	-36	55	-42	69	-42	69	-50	90
	29		29		32		32		36		36		42		42		50
0	50	0	50	0	75	0	75	0	100	0	100	0	125	0	125	0	160
-44	18	-44	18	-50	33	-50	33	-56	48	-56	48	-66	61	-66	61	-78	81
	44		44		50		50		56		56		66		66		78
+22	72	+22	72	+25	100	+25	100	+28	128	+28	128	+33	158	+33	158	+39	199
-22	40	-22	40	-25	58	-25	58	-28	76	-28	76	-33	94	-33	94	-39	120
	22		22		25		25		28		28		33		33		39
+14,5	65	+14,5	65	+16	91	+16	91	+18	118	+18	118	+21	146	+21	146	+25	185
-14,5	38	-14,5	38	-16	55	-16	55	-18	73	-18	73	-21	90	-21	90	-25	115
	15		15		16		16		18		18		21		21		25
+22	72	+22	72	+25	100	+25	100	+28	128	+28	128	+33	158	+33	158	+39	199
-22	40	-22	40	-25	58	-25	58	-28	76	-28	76	-33	94	-33	94	-39	120
	22		22		25		25		28		28		33		33		39
+29	79	+29	79	+32	107	+32	107	+36	136	+36	136	+42	167	+42	167	+50	210
0	53	0	53	0	71	0	71	0	91	0	91	0	111	0	111	0	140
	0		0		0		0		0		0		0		0		0
+44	94	+44	94	+50	125	+50	125	+56	156	+56	156	+66	191	+66	191	+78	238
0	62	0	62	0	83	0	83	0	104	0	104	0	127	0	127	0	159
	0		0		0		0		0		0		0		0		0
+55	105	+55	105	+62	137	+62	137	+70	170	+70	170	+82	207	+82	207	+98	258
+26	78	+26	78	+30	101	+30	101	+34	125	+34	125	+40	151	+40	151	+48	188
	26		26		30		30		34		34		40		40		48
+70	120	+70	120	+80	155	+80	155	+90	190	+90	190	+106	231	+106	231	+126	286
+26	88	+26	88	+30	113	+30	113	+34	138	+34	138	+40	167	+40	167	+48	207
	26		26		30		30		34		34		40		40		48

Diseño de las partes adyacentes

Ajuste de los ejes

		Dimensiones en mm					
Medida nominal del eje	más de hasta	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 65
		Tolerancia en micras (0.001 μm) (tolerancia normal)					
Diferencia del agujero del rodamiento	Δ_{dmp}	0 -8	0 -8	0 -8	0 -10	0 -12	0 -15

Esquema del ajuste Eje	Δ_{dmp}	Tolerancia del eje, apriete u holgura en micras (0.001 μm)											
		3		6		10		18		30		50	
n5	-0+	+13 +8	21 8	+16 +10	24 10	+20 +12	28 12	+24 +15	34 15	+28 +17	40 17	+33 +20	48 20
n6	-0+	+16 +8	24 8	+19 +10	27 10	+23 +12	31 12	+28 +15	38 15	+33 +17	45 17	+39 +20	54 20
p6	-0+	+20 +12	28 12	+24 +15	32 15	+29 +18	37 18	+35 +22	45 22	+42 +26	54 26	+51 +32	66 32
p7	-0+	+24 +12	32 12	+30 +15	38 15	+36 +18	44 18	+43 +22	53 22	+51 +26	63 26	+62 +32	77 32
r6	-0+	+23 +15	31 15	+28 +19	36 19	+34 +23	42 23	+41 +28	51 28	+50 +34	62 34	+60 +41	75 41
r7	-0+	+27 +15	35 15	+34 +19	42 19	+41 +23	49 23	+49 +28	59 28	+59 +34	71 34	+71 +41	86 41

Ejemplo: Eje Ø 200 n6

Lado pasa	+60	90	Apriete u holgura, caso de coincidir los lados pasa
Lado no pasa	+31	70 31	Apriete u holgura probable
			Apriete u holgura, caso de coincidir los lados no pasa
			los números impresos en negrita indican apriete
			los números impresos de modo normal en la columna derecha indican holgura

Tolerancias del eje para manguitos de montaje y desmontaje

	Tolerancias de eje en micras (0.001 μm)											
$h7/\frac{IT5}{2}$	0 -12	2.5	0 -15	3	0 -18	4	0 -21	4.5	0 -25	5.5	0 -30	6.5
$h8/\frac{IT5}{2}$	0 -18	2.5	0 -22	3	0 -27	4	0 -33	4.5	0 -39	5.5	0 -46	6.5
$h9/\frac{IT6}{2}$	0 -30	4	0 -36	4.5	0 -43	5.5	0 -52	6.5	0 -62	8	0 -74	9.5

Los números impresos en *cursiva* son valores de orientación para la tolerancia de cilíndricidad t_1 (DIN ISO 1101)



65	80	100	120	140	160	180	200	225	225
80	100	120	140	160	180	200	225	250	250

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-15	-20	-20	-25	-25	-25	-30	-30	-30	-30

+33	48	+38	58	+38	58	+45	70	+45	70	+45	70	+51	81	+51	81	+51	81
+20	39	+23	46	+23	46	+27	56	+27	56	+27	56	+31	64	+31	64	+31	64
	20		23		23		27		27		27		31		31		31
+39	54	+45	65	+45	65	+52	77	+52	77	+52	77	+60	90	+60	90	+60	90
+20	43	+23	51	+23	51	+27	60	+27	60	+27	60	+31	70	+31	70	+31	70
	20		23		23		27		27		27		31		31		31
+51	66	+59	79	+59	79	+68	93	+68	93	+68	93	+79	109	+79	109	+79	109
+32	55	+37	65	+37	65	+43	76	+43	76	+43	76	+50	89	+50	89	+50	89
	32		37		37		43		43		43		50		50		50
+62	77	+72	92	+72	92	+83	108	+83	108	+83	108	+96	126	+96	126	+96	126
+32	62	+37	73	+37	73	+43	87	+43	87	+43	87	+50	101	+50	101	+50	101
	32		37		37		43		43		43		50		50		50
+62	77	+73	93	+76	96	+88	113	+90	115	+93	118	+106	136	+109	139	+113	143
+43	66	+51	79	+54	82	+63	97	+65	99	+68	102	+77	116	+80	119	+84	123
	43		51		54		63		65		68		77		80		84
+73	88	+86	106	+89	109	+103	128	+105	130	+108	133	+123	153	+126	156	+130	160
+43	73	+51	87	+54	90	+63	107	+65	109	+68	112	+77	128	+80	131	+84	135
	43		51		54		63		65		68		77		80		84

0	6,5	0	7,5	0	7,5	0	9	0	9	0	9	0	10	0	10	0	10
-30		-35		-35		-40		-40		-40		-46		-46		-46	
0	6,5	0	7,5	0	7,5	0	9	0	9	0	9	0	10	0	10	0	10
-46		-54		-54		-63		-63		-63		-72		-72		-72	
0	9,5	0	11	0	11	0	12,5	0	12,5	0	12,5	0	14,5	0	14,5	0	14,5
-74		-87		-87		-100		-100		-100		-115		-115		-115	

Diseño de las partes adyacentes

Ajuste de los ejes

		Dimensiones en mm										
Medida nominal del eje	más de hasta	250 280	280 315	315 355	355 400	400 450	450 500	450 500	500			
		Tolerancia en micras (0.001 μm) (tolerancia normal)										
Diferencia del agujero del rodamiento	Δ_{dmp}	0 -35	0 -35	0 -40	0 -40	0 -40	0 -45	0 -45	0 -45			
Esquema del ajuste Eje		Tolerancia del eje, apriete u holgura en micras (0.001 μm)										
		n5	+57 +34	92 73 34	+57 +34	92 73 34	+62 +37	102 80 37	+62 +37	102 80 37	+67 +40	112 88 40
n6	+66 +34	101 79 34	+66 +34	101 79 34	+73 +37	113 88 37	+73 +37	113 88 37	+80 +40	125 97 40	+80 +40	125 97 40
p6	+88 +56	123 101 56	+88 +56	123 101 56	+98 +62	138 113 62	+98 +62	138 113 62	+108 +68	153 125 68	+108 +68	153 125 68
p7	+108 +56	143 114 56	+108 +56	143 114 56	+119 +62	159 127 62	+119 +62	159 127 62	+131 +68	176 139 68	+131 +68	176 139 68
r6	+126 +94	161 138 94	+130 +98	165 142 98	+144 +108	184 159 108	+150 +114	190 165 114	+166 +126	211 183 126	+172 +132	217 189 132
r7	+146 +94	181 152 94	+150 +98	185 156 98	+165 +108	205 173 108	+171 +114	211 179 114	+189 +126	234 198 126	+195 +132	240 204 132

Ejemplo: Eje Ø 560 p6

Lado pasa	+122	172	Apriete u holgura, caso de coincidir los lados pasa Apriete u holgura probable
Lado no pasa	+78	140 78	
Apriete u holgura, caso de coincidir los lados no pasa los números impresos en negrita indican apriete los números impresos de modo normal en la columna derecha indican holgura			

Tolerancias del eje para manguitos de montaje y desmontaje

		Tolerancias de eje en micras (0.001 μm)											
$h7/\frac{IT5}{2}$		0 -52	<i>11,5</i>	0 -52	<i>11,5</i>	0 -57	<i>12,5</i>	0 -57	<i>12,5</i>	0 -63	<i>13,5</i>	0 -63	<i>13,5</i>
$h8/\frac{IT5}{2}$		0 -81	<i>11,5</i>	0 -81	<i>11,5</i>	0 -89	<i>12,5</i>	0 -89	<i>12,5</i>	0 -97	<i>13,5</i>	0 -97	<i>13,5</i>
$h9/\frac{IT6}{2}$		0 -130	<i>16</i>	0 -130	<i>16</i>	0 -140	<i>18</i>	0 -140	<i>18</i>	0 -155	<i>20</i>	0 -155	<i>20</i>

Los números impresos en *cursiva* son valores de orientación para la tolerancia de cilindridad t_1 (DIN ISO 1101)..



500		560		630		710		800		900		1000		1120		1250	
560		630		710		800		900		1000		1120		1250		1600	
0		0		0		0		0		0		0		0		0	
-50		-50		-75		-75		-100		-100		-125		-125		-160	
+73	123	+73	123	+82	157	+82	157	+92	192	+92	192	+108	233	+108	233	+128	288
+44	96	+44	96	+50	121	+50	121	+56	147	+56	147	+66	177	+66	177	+78	218
	44		44		50		50		56		56		66		66		78
+88	138	+88	138	+100	175	+100	175	+112	212	+112	212	+132	257	+132	257	+156	316
+44	106	+44	106	+50	133	+50	133	+56	160	+56	160	+66	193	+66	193	+78	237
	44		44		50		50		56		56		66		66		78
+122	172	+122	172	+138	213	+138	213	+156	256	+156	256	+186	311	+186	311	+218	378
+78	140	+78	140	+88	171	+88	171	+100	204	+100	204	+120	247	+120	247	+140	299
	78		78		88		88		100		100		120		120		140
+148	198	+148	198	+168	243	+168	243	+190	290	+190	290	+225	350	+225	350	+265	425
+78	158	+78	158	+88	199	+88	199	+100	227	+100	227	+120	273	+120	273	+140	330
	78		78		88		88		100		100		120		120		140
+194	244	+199	249	+225	300	+235	310	+266	366	+276	376	+316	441	+326	451		
+150	212	+155	217	+175	258	+185	268	+210	314	+220	324	+250	377	+260	387		
	150		155		175		185		210		220		250		260		
+220	270	+225	275	+255	330	+265	340	+300	400	+310	410	+355	480	+365	490		
+150	230	+155	235	+175	278	+185	288	+210	337	+220	347	+250	403	+260	413		
	150		155		175		185		210		220		250		260		
0	14,5	0	14,5	0	16	0	16	0	18	0	18	0	21	0	21	0	25
-70		-70		-80		-80		-90		-90		-105		-105		-125	
0	14,5	0	14,5	0	16	0	16	0	18	0	18	0	21	0	21	0	25
-110		-110		-125		-125		-140		-140		-165		-165		-195	
0	22	0	22	0	25	0	25	0	28	0	28	0	33	0	33	0	39
-175		-175		-200		-200		-230		-230		-260		-260		-310	



Diseño de las partes adyacentes

Tolerancia de los alojamientos

Rodamientos radiales

Tipo de carga	Desplazabilidad axial Carga	Condiciones de servicio	Tolerancia
Carga puntual en aro exterior	Rodamientos libres aro exterior fácilmente desplazable	La calidad de la tolerancia depende de la precisión de giro necesaria	H7 (H6*)
	Aro exterior generalmente desplazable, rodamientos de bolas de contacto angular y de rodillos cónicos con aros ajustados	Gran precisión de giro	H6 (J6)
		Precisión de giro normal	H7 (J7)
		Calentamiento exterior a través eje	G7**)
Carga circunferencial en aro exterior o carga indeterminada	Carga pequeña	Con elevadas exigencias de precisión de giro K6, M6, N6 und P6	K7 (K6)
	Carga normal, golpes		M7 (M6)
	Carga elevada, golpes		N7 (N6)
	Carga elevada, golpes fuertes,, alojamientos de paredes delgadas		P7 (P6)

*) G7 para soportes hechos de GG, con un diámetro exterior del rodamientos $D > 250$ mm y una diferencia de temperatura entre aro exterior y soporte > 10 K.

**) F7 para soportes hechos de GG, con un diámetro exterior del rodamientos $D > 250$ mm y una diferencia de temperatura entre aro exterior y soporte > 10 K.

Rodamientos axiales

Tipo de carga	Tipo de rodamiento	Condiciones de servicio	Tolerancia
Carga axial	Rodamientos axiales de bolas	Precisión de giro normal Precisión de giro elevada	E8 H6
	Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos		H7 (K7)
	Coronas axiales de rodillos cilíndricos		H10
	Rodamientos axiales	Carga normal Carga elevada	E8 G7
Carga combinada carga puntual en el aro ajustado al alojamiento	Rodamientos axiales oscilantes de rodillos		H7
Carga combinada carga circunferencial en el aro ajustado al alojamiento	Rodamientos axiales oscilantes de rodillos		K7



Diseño de las partes adyacentes

Ajustes de los alojamientos

		Dimensiones en mm											
Medida nominal del agujero del alojamiento	más de hasta	6 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120						
		Tolerancia en micras (0.001 μm) (tolerancia normal)											
Diferencia del diámetro exterior del rodamiento	Δ_{Dmp}	0 -8	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -15						
Esquema del ajuste Alojamiento	Δ_{Dmp} + 0 -	Tolerancia del alojamiento, apriete u holgura en micras (0.001 μm)											
E8		+47 +25	25 35 55	+59 +32	32 44 67	+73 +40	40 54 82	+89 +50	50 67 100	+106 +60	60 79 119	+126 +72	72 85 141
F7		+28 +13	13 21 36	+34 +16	16 25 42	+41 +20	20 30 50	+50 +25	25 37 61	+60 +30	30 44 73	+71 +36	36 53 86
G6		+14 +5	5 11 22	+17 +6	6 12 25	+20 +7	7 14 29	+25 +9	9 18 36	+29 +10	10 21 42	+34 +12	12 24 49
G7		+20 +5	5 13 28	+24 +6	6 15 32	+28 +7	7 17 37	+34 +9	9 21 45	+40 +10	10 24 53	+47 +12	12 29 62
H6		+9 0	0 6 17	+11 0	0 6 19	+13 0	0 7 22	+16 0	0 9 27	+19 0	0 11 32	+22 0	0 12 37
H7		+15 0	0 8 23	+18 0	0 9 26	+21 0	0 10 30	+25 0	0 12 36	+30 0	0 14 43	+35 0	0 17 50
H8		+22 0	0 10 30	+27 0	0 12 35	+33 0	0 14 42	+39 0	0 17 50	+46 0	0 20 59	+54 0	0 23 69
J6		+5 -4	4 2 13	+6 -5	5 1 14	+8 -5	5 2 17	+10 -6	6 3 21	+13 -6	6 5 26	+16 -6	6 6 31
J7		+8 -7	7 1 16	+10 -8	8 1 18	+12 -9	9 1 21	+14 -11	11 1 25	+18 -12	12 2 31	+22 -13	13 4 37
JS6 ;		+4,5 -4,5	4,5 2 12,5	+5,5 -5,5	5,5 1 13,5	+6,5 -6,5	6,5 0 15,5	+8 -8	8 1 19	+9,5 -9,5	9,5 0 22,5	+11 -11	11 1 26
JS7 ;		+7,5 -7,5	7,5 1 15,5	+9 -9	9 0 17	+10,5 -10,5	10,5 1 19,5	+12,5 -12,5	12,5 1 23,5	+15 -15	15 1 28	+17,5 -17,5	17,5 1 32,5
K6		+2 -7	7 1 10	+2 -9	9 3 10	+2 -11	11 4 11	+3 -13	13 4 14	+4 -15	15 4 17	+4 -18	18 6 19
K7		+5 -10	10 2 13	+6 -12	12 3 14	+6 -15	15 5 15	+7 -18	18 6 18	+9 -21	21 7 22	+10 -25	25 8 25

Ejemplo: Alojamiento Ø 100 K6

Lado pasa	+4	18	Apriete u holgura, caso de coincidir los lados pasa
Lado no pasa	-18	6 19	Apriete u holgura probable.
			Apriete u holgura, caso de coincidir los lados no pasa
			los números impresos en negrita indican apriete
			los números impresos de modo normal en la columna derecha indican holgura



Diseño de las partes adyacentes

Ajustes de los alojamientos

		Medidas en mm															
Medida nominal del Agujero del alojamiento	más de hasta	120	150	180	250	315	400	400	500	120	150	180	250	315	400	500	
		150	180	250	315	400	500	150	180	250	315	400	500				
		Tolerancia en micras (0.001 μm) (tolerancia normal)															
Diferencia del diámetro exterior del rodamiento	Δ_{Dmp}	0 -18	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -45	0 -18	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -45				
Esquema del ajuste Alojamiento	Δ_{Dmp} + 0 -	Tolerancia del alojamiento, apriete u holgura en micras (0,001μm)															
E8		+148 +85	85 112 166	+148 +85	85 114 173	+172 +100	100 134 202	+191 +110	110 149 226	+214 +125	125 168 254	+232 +135	135 182 277				
F7		+83 +43	43 62 101	+83 +43	43 64 108	+96 +50	50 75 126	+108 +56	56 85 143	+119 +62	62 94 159	+131 +68	68 104 176				
G6		+39 +14	14 28 57	+39 +14	14 31 64	+44 +15	15 35 74	+49 +17	17 39 84	+54 +18	18 43 94	+60 +20	20 48 105				
G7		+54 +14	14 33 72	+54 +14	14 36 79	+61 +15	15 40 91	+69 +17	17 46 104	+75 +18	18 50 115	+83 +20	20 56 128				
H6		+25 0	0 14 43	+25 0	0 17 50	+29 0	0 20 59	+32 0	0 22 67	+36 0	0 25 76	+40 0	0 28 85				
H7		+40 0	0 19 58	+40 0	0 22 65	+46 0	0 25 76	+52 0	0 29 87	+57 0	0 32 97	+63 0	0 36 108				
H8		+63 0	0 27 81	+63 0	0 29 88	+72 0	0 34 102	+81 0	0 39 116	+89 0	0 43 129	+97 0	0 47 142				
J6		+18 -7	7 7 36	+18 -7	7 10 43	+22 -7	7 13 52	+25 -7	7 15 60	+29 -7	7 18 69	+33 -7	7 21 78				
J7		+26 -14	14 5 44	+26 -14	14 8 51	+30 -16	16 9 60	+36 -16	16 13 71	+39 -18	18 14 79	+43 -20	20 16 88				
JS6		+12,5 -12,5	12,5 1 30,5	+12,5 -12,5	12,5 3 37,5	+14,5 -14,5	14,5 5 44,5	+16 -16	16 7 51	+18 -18	18 6 58	+20 -20	20 8 65				
JS7		+20 -20	20 1 38	+20 -20	20 1 45	+23 -23	23 2 53	+26 -26	26 3 61	+28,5 -28,5	28,5 3 68,5	+31,5 -31,5	31,5 4 76,5				
K6		+4 -21	21 7 22	+4 -21	21 4 29	+5 -24	24 4 35	+5 -27	27 5 40	+7 -29	29 4 47	+8 -32	32 4 53				
K7		+12 -28	28 9 30	+12 -28	28 6 37	+13 -33	33 8 43	+16 -36	36 7 51	+17 -40	40 8 57	+18 -45	45 9 63				

Ejemplo: Alojamiento Ø 560 K6

Lado pasa	0	44	Apriete u holgura, caso de coincidir los lados pasa Apriete u holgura probable Apriete u holgura, caso de coincidir los lados no pasa. los números impresos en negrita indican apriete los números impresos de modo normal en la columna derecha indican holgura
Lado no pasa	-44	12	
		50	



	500 630		630 800		800 1000		1000 1250		1250 1600		1600 2000		2000 2500	
	0	-50	0	-75	0	-100	0	-125	0	-160	0	-200	0	-250
	+255	145 199 305	+285	160 227 360	+310	170 250 410	+360	195 292 485	+415	220 338 575	+470	240 384 670	+540	260 436 790
	+146	76 116 196	+160	80 132 235	+176	86 149 276	+203	98 175 328	+235	110 205 395	+270	120 237 470	+305	130 271 555
	+66	22 54 116	+74	24 66 149	+82	26 78 182	+94	28 93 219	+108	30 109 268	+124	32 130 324	+144	34 154 394
	+92	22 62 142	+104	24 76 179	+116	26 89 216	+133	28 105 258	+155	30 125 315	+182	32 149 382	+209	34 175 459
	+44	0 32 94	+50	0 42 125	+56	0 52 156	+66	0 64 191	+78	0 79 238	+92	0 98 292	+110	0 120 360
	+70	0 40 120	+80	0 52 155	+90	0 63 190	+105	0 77 230	+125	0 95 285	+150	0 117 350	+175	0 142 425
	+110	0 54 160	+125	0 67 200	+140	0 80 240	+165	0 97 290	+195	0 118 355	+230	0 143 430	+280	0 177 530
	+22	22 10 -22 72	+25	25 17 -25 100	+28	28 24 -28 128	+33	33 31 -33 158	+39	39 40 -39 199	+46	46 52 -46 246	+55	55 65 -55 305
	+35	35 5 -35 85	+40	40 12 -40 115	+45	45 18 -45 145	+52	52 24 -52 177	+62	62 32 -62 222	+75	75 42 -75 275	+87	87 54 -87 337
	0	44 12 -44 50	0	50 8 -50 75	0	56 4 -56 100	0	66 2 -66 125	0	78 1 -78 160	0	92 6 -92 200	0	110 10 -110 250
	0	70 30 -70 50	0	80 28 -80 75	0	90 27 -90 100	0	105 28 -105 125	0	125 30 -125 160	0	150 33 -150 200	0	175 34 -175 250



Diseño de las partes adyacentes

Ajustes de los alojamientos

		Dimensiones en mm											
Medida nominal del agujero del alojamiento	más de hasta	6 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120						
		Tolerancia en micras (0.001 μm) (tolerancia normal))											
Diferencia del diámetro exterior del rodamiento	Δ_{Dmp}	0 -8	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -15						
Esquema del ajuste Alojamiento 		Tolerancia del alojamiento, apriete u holgura en micras (0,001μm)											
	M6	-3 -12	12 6 5	-4 -15	15 9 4	-4 -17	17 10 5	-4 -20	20 11 7	-5 -24	24 13 8	-6 -28	28 16 9
	M7	0 -15	15 7 8	0 -18	18 9 8	0 -21	21 11 9	0 -25	25 13 11	0 -30	30 16 13	0 -35	35 18 15
	N6	-7 -16	16 10 1	-9 -20	20 14 1	-11 -24	24 17 2	-12 -28	28 19 1	-14 -33	33 22 1	-16 -38	38 26 1
	N7	-4 -19	19 11 4	-5 -23	23 14 3	-7 -28	28 18 2	-8 -33	33 21 3	-9 -39	39 25 4	-10 -45	45 28 5
	P6	-12 -21	21 15 4	-15 -26	26 20 7	-18 -31	31 24 9	-21 -37	37 28 10	-26 -45	45 34 13	-30 -52	52 40 15
	P7	-9 -24	24 16 1	-11 -29	29 20 3	-14 -35	35 25 5	-17 -42	42 30 6	-21 -51	51 37 8	-24 -59	59 42 9
Ejemplo: Alojamiento Ø 100 M7													
Lado pasa	0	35	Apriete u holgura, caso de coincidir los lados pasa										
		18	Apriete u holgura probable										
Lado no pasa	-35	15	Apriete u holgura, caso de coincidir los lados no pasa										
			los números impresos en negrita indican apriete										
			los números impresos de modo normal en la columna derecha indican holgura										



120	150	180	250	315	400	500	630	800	1000
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-18	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-75	-100	

-8	33	-8	33	-8	37	-9	41	-10	46	-10	50	-26	70	-30	80	-34	90
-33	19	-33	16	-37	17	-41	19	-46	21	-50	22	-70	38	-80	38	-90	38
	10		17		22		26		30		35		24		45		66
0	40	0	40	0	46	0	52	0	57	0	63	-26	96	-30	110	-34	124
-40	21	-40	18	-46	21	-52	23	-57	25	-63	27	-96	56	-110	58	-124	61
	18		25		30		35		40		45		24		45		66
-20	45	-20	45	-22	51	-25	57	-26	62	-27	67	-44	88	-50	100	-56	112
-45	31	-45	28	-51	31	-57	35	-62	37	-67	39	-88	56	-100	58	-112	60
	2		5		8		10		14		18		6		25		44
-12	52	-12	52	-14	60	-14	66	-16	73	-17	80	-44	114	-50	130	-56	146
-52	33	-52	30	-60	35	-66	37	-73	41	-80	44	-114	74	-130	78	-146	83
	6		13		16		21		24		28		6		25		44
-36	61	-36	61	-41	70	-47	79	-51	87	-55	95	-78	122	-88	138	-100	156
-61	47	-61	44	-70	50	-79	57	-87	62	-95	67	-122	90	-138	96	-156	104
	18		11		11		12		11		10		28		13		0
-28	68	-28	68	-33	79	-36	88	-41	98	-45	108	-78	148	-88	168	-100	190
-68	49	-68	46	-79	54	-88	59	-98	66	-108	72	-148	108	-168	126	-190	127
	10		3		3		1		1		0		28		13		0



Diseño de las partes adyacentes

Ajustes de los alojamientos

		Dimensiones en mm							
Medida nominal del agujero del alojamiento	más de hasta	1000 1250	1250 1600	1600 2000	2000 2500				
		Tolerancia en micras (0.001 μm) (tolerancia normal))							
Diferencia del diámetro exterior del rodamiento	Δ_{Dmp}	0 -125	0 -160	0 -200	0 -250				
Esquema del ajuste Alojamiento		Tolerancia del alojamiento, apriete u holgura en micras (0.001 μm)							
M6		-40 -106	106 45 85	-48 -126	126 47 112	-58 -150	150 52 142	-68 -178	178 58 182
M7		-40 -145	145 68 85	-48 -173	173 78 112	-58 -208	208 91 142	-68 -178	243 102 182
N6		-66 -132	132 67 59	-78 -156	156 77 82	-92 -184	184 86 108	-110 -220	220 100 140
N7		-66 -171	171 94 59	-78 -203	203 108 82	-92 -242	242 125 108	-110 -285	285 144 140
P6		-120 -186	186 121 5	-140 -218	218 139 20	-170 -262	262 164 30	-195 -305	305 185 55
P7		-120 -225	225 148 5	-140 -265	265 159 20	-170 -320	320 203 30	-195 -370	370 229 55

Diseño de las partes adyacentes

Aplicaciones directas de rodamientos

Caminos de rodadura de aplicaciones directas de rodamientos

En los rodamientos de rodillos cilíndricos sin aro interior o exterior (ejecución RNU o RN suministrable a demanda), los rodillos giran directamente sobre el eje templado y rectificado o en el soporte.

Los caminos de rodadura han de tener una dureza de 58 a 64 HRC y un valor medio de rugosidad $R_a \leq 0,2 \mu\text{m}$ para aprovechar toda la capacidad de carga del rodamiento.

También deben estar templados los discos axiales y los resaltes del eje.

Los materiales idóneos para caminos de rodadura incluyen aceros de temple total según DIN 17230, p. e. el acero para rodamientos 100 Cr 6 (mat. no. 1.3505) y aceros de cementación, p. e. 17 MnCr 5 (mat. no. 1.3521) o 16 CrNiMo 6 (mat. no. 1.3531).

En los aceros de cementación, la profundidad de cementación $E_{ht_{min}}$ de los caminos de rodadura rectificadas depende de la carga, del diámetro de los elementos rodantes y de la resistencia del núcleo del acero utilizado. La siguiente fórmula vale para cálculos aproximados:

Profundidad de cementación mín.

$$E_{ht_{min}} = (0,07 \text{ a } 0,12) D_w$$

donde D_w es el diámetro de los elementos rodantes.

El valor mayor deberá emplearse para baja resistencia del núcleo y/o cargas elevadas. La profundidad de cementación no deberá ser inferior a 0,3 mm.

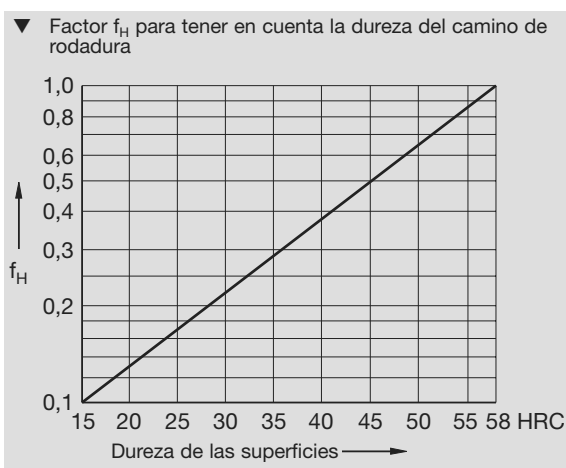
También pueden usarse aceros bonificados como el Cf 54 (mat. no. 1.1219) o 43 CrMo 4 (mat. no.1.3563). Estos aceros pueden templarse a la llama o por inducción. La siguiente fórmula se aplica para la profundidad mínima endurecida:

$$R_{ht_{min}} = (0,1 \dots 0,18) D_w$$

donde D_w es el diámetro de los elementos rodantes

El valor mayor deberá emplearse para baja resistencia del núcleo y/o cargas elevadas

Si la dureza de la superficie de los caminos de rodadura es menor de 58 HRC, el rodamiento no alcanzará su capacidad de carga plenamente. En este caso han de reducirse la capacidad de carga dinámica C y la capacidad de carga estática C_0 por el factor f_H , ver diagrama.





Diseño de las partes adyacentes

Aplicaciones directas de rodamientos · Fijación axial

Para las pistas de rodadura hace falta un rectificado fino exento de ondulaciones. Con un valor medio de rugosidad $R_a > 0,2 \mu\text{m}$ ya no puede aprovecharse del todo la capacidad de carga de los rodamientos.

En aplicaciones directas de rodamientos, el juego del rodamiento se determina por las tolerancias de los diámetros del eje y del alojamiento.

Informaciones más detalladas sobre el juego del rodamiento y las tolerancias de mecanizado se dan en los textos preliminares al principio de cada sección del catálogo.

La siguiente tabla contiene los valores recomendados para la tolerancia de mecanizado y de forma de los caminos de rodadura de los asientos directos de rodamientos, con exigencias normales y elevadas de precisión de giro.

Fijación axial de los rodamientos

Dependiendo de sus diferentes funciones de guiado, se distingue entre apoyos fijos, apoyos libres, apoyos con ajuste propio, apoyos flotantes (compárese apartado “Selección de la disposición de los rodamientos”, página 24). La fijación axial de los aros de los rodamientos se adapta a la disposición de los apoyos.

Rodamientos fijos y rodamientos libres

Los rodamientos fijos tienen que soportar fuerzas axiales de diversa magnitud, por lo que es un factor decisivo del elemento de sujeción. Ejemplos de elementos de sujeción son: resaltes en ejes y alojamientos, anillos de sujeción, tapas de alojamiento, tapas fin de eje, tuercas, distanciadores, etc.

Los rodamientos libres sólo tienen que transmitir pequeñas fuerzas axiales resultantes de dilataciones térmicas por lo que la fijación axial sólo tiene que prevenir el desplazamiento lateral del aro.

Un ajuste fuerte generalmente cumple la función. Con rodamientos no despiezables, sólo un aro tiene que estar firmemente ajustado, el otro es retenido por los cuerpos rodantes.

▼ Valores recomendados para el mecanizado de los caminos de rodadura en aplicaciones directas de rodamientos

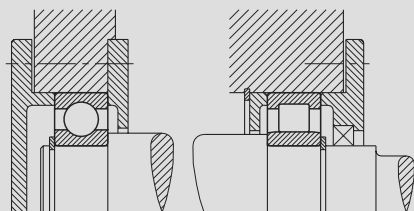
Precisión de giro	Camino de rodadura	Tolerancia de mecanizado	Cilindricidad DIN ISO 1101	Escuadrado de los resaltes de rodadura	Salto axial de los caminos
Rodamientos radiales normal	Eje	IT6	$\frac{IT3}{2}$	IT3	
	Alojamiento	IT6	$\frac{IT3}{2}$	IT3	
elevada	Eje	IT4	$\frac{IT1}{2}$	IT1	
	Alojamiento	IT5	$\frac{IT2}{2}$	IT2	
Rodamientos axiales normal					IT5
	elevada				IT4

Las calidades IT para elevada precisión de giro deben también aplicarse para elevadas velocidades y juego radial reducido.

Diseño de las partes adyacentes

Fijación axial

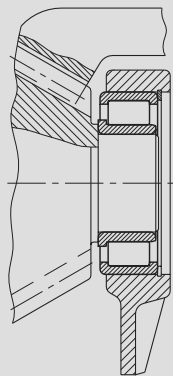
▼ Fijación axial con cierre de forma del aro exterior de un rodamiento rígido de bolas y de un rodamiento de rodillos cilíndricos



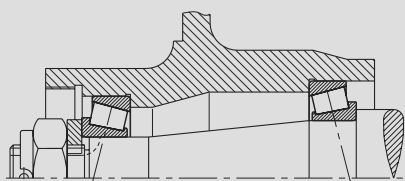
Rodamiento fijo

Rodamiento libre

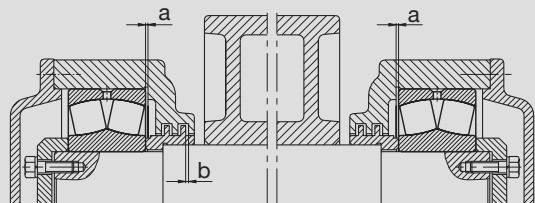
▼ Rodamiento de rodillos cilíndricos tipo NJ montado como rodamiento libre, el reborde del aro interior evita el movimiento axial a un lado.



▼ Fijación axial de una disposición ajustada



▼ Fijación axial de una disposición flotante $a =$ juego de guiado; $a < b$ ($b =$ intersticio axial de laberinto)



Disposición de rodamientos ajustados y flotantes

Como las disposiciones de rodamientos ajustados y flotantes sólo transmiten fuerzas axiales en un sentido únicamente es necesario apoyar los aros en un lado. Otro rodamiento, que está simétricamente dispuesto, absorbe las fuerzas opuestas. Como elementos de ajuste se utilizan tuercas, anillos roscados, tapas o distanciadores. En disposiciones de rodamientos flotantes el movimiento lateral de los aros se limita con los resaltes del eje o del alojamiento, tapas, anillos de sujeción, etc.

Dimensiones auxiliares

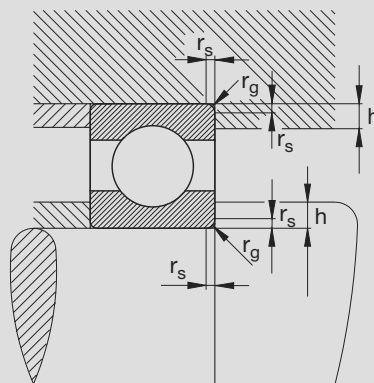
Los aros de los rodamientos deben apoyarse solamente en los resaltes del eje o del alojamiento, no en la garganta. Consecuentemente, el radio máximo r_g de la parte anexa ha de ser menor que el radio mínimo del rodamiento r_{smin} (ver página 52).

El resalte de las partes anexas debe ser tan grande que incluso con el máximo radio del rodamiento haya una superficie de apoyo adecuada (DIN5418).

En las tabla de rodamientos se indican el radio máximo r_g y los diámetros de los resaltes.

Características especiales de algunos tipos de rodamientos, p. e. rodamientos de rodillos cilíndricos, rodamientos de rodillos cónicos y rodamientos axiales se explican en los textos precedentes a las tablas.

▼ Dimensiones auxiliares según DIN 5418



Diseño de las partes adyacentes

Obturación

Obturación

La obturación tiene una influencia enorme sobre la vida de servicio de una disposición de rodamientos. Por un lado, debe retener el lubricante en el rodamiento y, por otro, impedir la entrada de contaminación.

Los contaminantes tienen diferentes efectos:

- Un gran número de finas partículas actúan como un abrasivo y originan desgaste en el rodamiento. Un aumento del juego o el desarrollo creciente de ruido termina con la vida de servicio del rodamiento.
- Mayores partículas duras sometidas al paso de los elementos rodantes disminuyen la vida a fatiga porque, a elevadas cargas de los rodamientos, se forman pittings en las zonas indentadas.

En principio, se distingue entre obturaciones no rozantes y obturaciones rozantes.

Obturaciones no rozantes

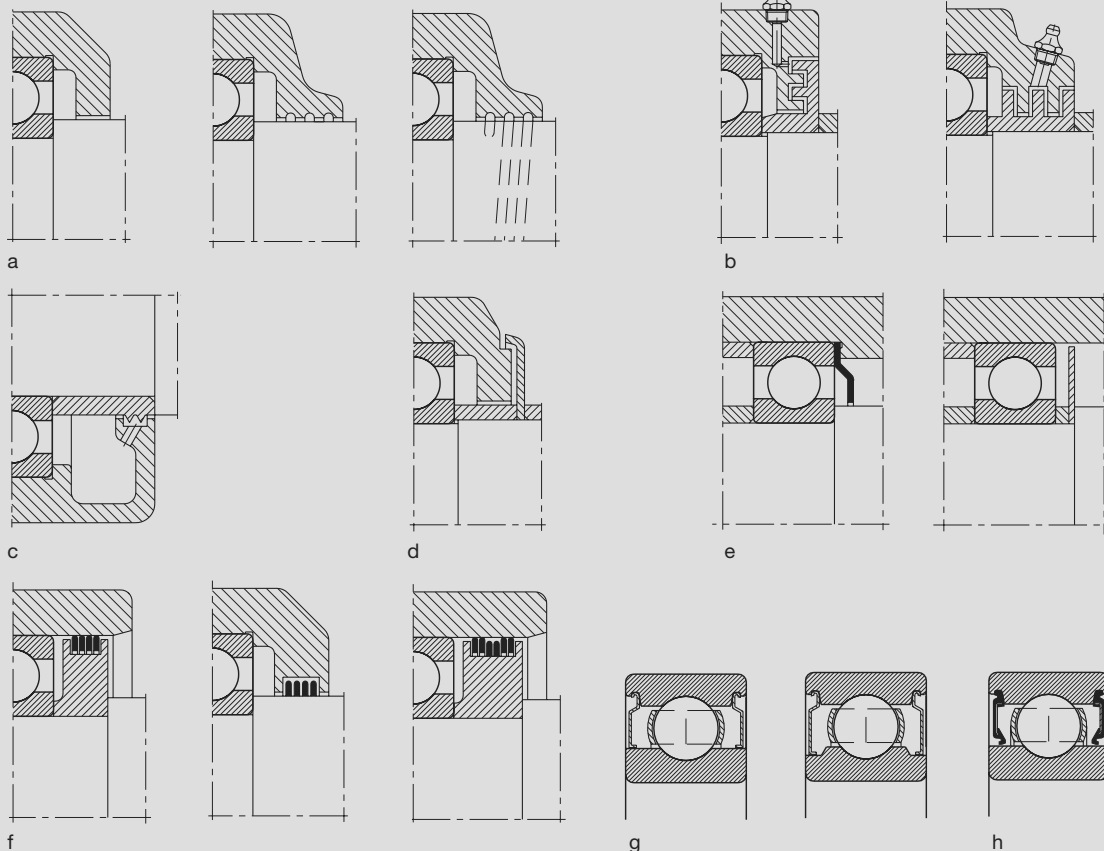
En las obturaciones no rozantes no se produce otro rozamiento que el del lubricante en el intersticio de lubricación. Las obturaciones no se desgastan y puede contarse con una fiabilidad de funcionamiento durante mucho tiempo. Dado que las obturaciones no rozantes no originan calor, son idóneas para velocidades muy altas.

Un intersticio de lubricación estrecho entre eje y alojamiento (a) es muy fácil de construir y, en muchos casos, es suficiente.

Los laberintos (b), cuyos intersticios se llenan con grasa, tienen un efecto obturador mucho mayor. En un ambiente sucio se rellena grasa desde el interior, a intervalos más cortos.

▼ Obturaciones no rozantes

a = obturaciones por intersticio, b = obturaciones de laberinto, c = discos deflectores, d = disco proyector, e = discos de retención, f = anillos laminares, g = rodamientos con tapas de protección (izquierda .2ZR, derecha .2Z), h = rodamiento con obturaciones RSD (.2RSD)



Diseño de las partes adyacentes

Obturación

En el caso de lubricación por aceite en un eje horizontal, sirven los discos deflectores (c) para impedir la fuga de aceite. La abertura para la salida del aceite en la parte inferior de la obturación ha de ser lo suficientemente grande para que no se tape por suciedad.

Los discos proyectores (d) que giran con el eje, protegen el intersticio de lubricación contra impurezas de mayor importancia.

Los discos de retención estacionarios (e) hacen que la grasa permanezca cerca del rodamiento. El cordón de grasa que se forma en el intersticio de obturación protege el rodamiento contra impurezas.

Los anillos laminares de acero (f) con discos elásticos hacia fuera o hacia dentro requieren un pequeño espacio de montaje. Evitan la pérdida de grasa y la entrada de polvo y además sirven como obturación previa contra salpicaduras de agua.

Los elementos de obturación que requieren poco sitio son tapas de protección montados en uno o ambos lados del rodamiento (g). Los rodamientos con dos tapas de protección (signo pospuesto .2ZR y .2Z para rodamientos de miniatura) se suministran engrasados.

El labio obturador de las obturaciones RSD (h) forma un pequeño intersticio con el aro interior. El rozamiento es tan bajo como en los rodamientos con tapas de protección. La ventaja sobre las tapas de protección es su revestimiento de caucho que asegura una eficiente obturación en la ranura del aro exterior. Esto es importante para aros exteriores que giran ya que el aceite básico extraído del espesante por fuerza centrífuga puede escaparse por el intersticio entre la tapa metálica y el aro exterior. Con las obturaciones RSD pueden alcanzarse velocidades del aro exterior hasta el límite permisible.

Obturaciones rozantes

Las obturaciones rozantes (ver página 126) se apoyan en la superficie de rodadura metálica bajo una determinada presión (generalmente radial). Esta presión debe permanecer lo más baja posible para que el par de rozamiento y la temperatura no aumenten demasiado. Otros factores de influencia sobre el par de rozamiento, la temperatura y el desgaste de la obturación son: las condiciones de lubricación en la superficie de rodadura, la rugosidad de ésta y la velocidad de deslizamiento.

Los anillos de fieltro (a) son elementos de obturación simples que dan buenos resultados sobre todo en el caso de lubricación con grasa. Antes

del montaje, se impregnan de aceite y obturan muy bien contra polvo. Bajo condiciones ambientales desfavorables pueden preverse dos anillos de fieltro, dispuestos uno al lado del otro.

Los retenes radiales de eje (b) se utilizan, sobre todo, para lubricación con aceite. El retén obturador de un labio, está forzado contra la superficie de rodadura del eje mediante un muelle. Si se quiere impedir principalmente la fuga del lubricante, el labio se dispone en el interior del apoyo. Un retén con un labio protector adicional, además evita la entrada de suciedad. En la lubricación con aceite, los labios obturadores de material convencional de caucho nitrilo-butadieno (NBR) son apropiados para velocidades circunferenciales en la superficie de rodadura de hasta 12 m/s.

El anillo en V (c) es una obturación de labio de efecto axial. Este anillo de goma se monta a presión sobre el eje hasta que el labio se apoye axialmente en la pared del alojamiento. El labio obturador al mismo tiempo actúa de disco deflector. La eficacia de las obturaciones axiales de labios no varía frente a una desalineación radial y una inclinación leve del eje. Con una lubricación con grasa, los anillos en V que giran valen para velocidades circunferenciales hasta 12 m/s y los anillos estacionarios hasta 20 m/s. Si las velocidades circunferenciales rebasan los 8 m/s, es necesario apoyar el anillo en V en sentido axial y para velocidades superiores a 12 m/s conviene prever adicionalmente un retén radial para el eje. Los anillos en V muchas veces se utilizan como obturación previa para evitar que lleguen suciedades al retén radial para el eje.

Las chapas elásticas de obturación (d) son bastante eficaces para lubricación con grasa. Las chapas de lámina fina se sujetan en la cara frontal del aro interior o del aro exterior y se apoyan en el otro aro elásticamente con precarga axial.

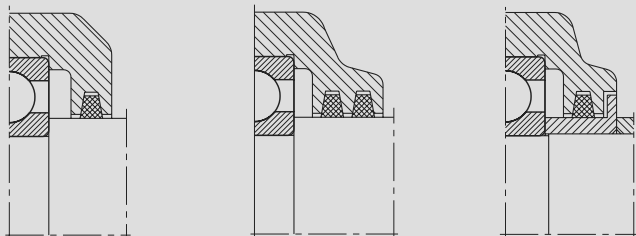
Los rodamientos con una o dos tapas de obturación (e) permiten construcciones sencillas. Las tapas sirven como obturación contra polvo, suciedad, humedad y pequeñas diferencias de presión. FAG suministra rodamientos libres de mantenimiento, con dos tapas de obturación y con grasa (véase apartado "Lubricación de rodamientos con grasa", página 130). El diseño de obturación RSR de caucho nitrilo-butadieno (NBR), el más frecuentemente utilizados para rodamientos rígidos de bolas, se apoya con una ligera presión radial en el aro interior rectificado. El diseño RS para rodamientos rígidos de bolas contra un chaflán del aro interior.

Diseño de las partes adyacentes

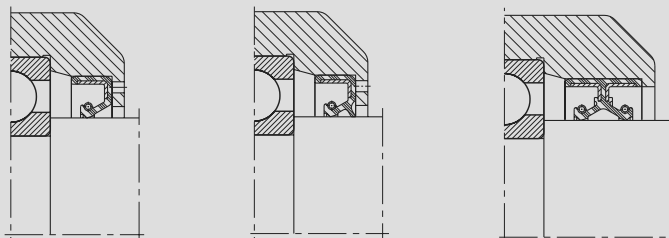
Obturación

▼ **Obturaciones rozantes**

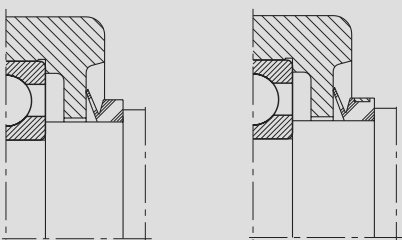
a = anillo o tiras de fieltro, b = retenes radiales de eje, c = anillos en V, d = chapas elásticas, e = rodamientos con tapas de obturación (izquierda .2RSR, derecha .2RS)



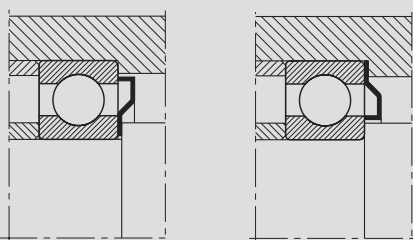
a



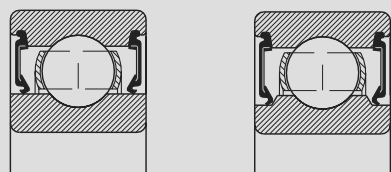
b



c



d



e



Lubricación y mantenimiento

Película lubricante · Sistemas de lubricación

Lubricación y mantenimiento

Formación de una película lubricante

Las misión principal de la lubricación de rodamientos es evitar el desgaste y la fatiga prematura y, con ello, garantizar suficientemente una larga vida de servicio. Además, la lubricación debe contribuir a que existan propiedades de servicio favorables, como son un bajo nivel de ruido y de rozamiento. La película lubricante que se forma entre las partes que transmiten la carga, debe evitar el contacto metal - metal. El espesor de la película se calcula con ayuda de la teoría de la lubricación elastohidrodinámica (véase publicación FAG no. WL 81 115 "Lubricación de rodamientos").

Mediante un método simplificado, la condición de lubricación se describe a través de la relación entre la viscosidad de servicio v y la viscosidad relativa v_1 . Esta última depende del número de revoluciones n y del diámetro medio del rodamiento d_m , ver diagrama superior de la página 43.

El cálculo de vida nominal de los rodamientos según DIN ISO 281 se basa en el supuesto que la viscosidad de servicio v del aceite utilizado es por lo menos tan alta como la viscosidad relativa v_1 . La viscosidad de servicio para aceites minerales puede calcularse de la viscosidad a 40 °C y la temperatura de servicio con el diagrama $V - T$ en la página 43.

El cálculo de vida ampliada (ver pág. 40) también tiene en cuenta los siguientes parámetros de influencia sobre la vida alcanzable: una viscosidad de servicio que discrepe de la viscosidad relativa, los aditivos en el lubricante y la limpieza en el intersticio de lubricación.

La viscosidad del aceite lubricante cambia con la presión entre las áreas de contacto. La siguiente fórmula es aplicable:

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{\alpha p}$$

siendo:

η	viscosidad dinámica bajo una presión p	[Pa s]
η_0	viscosidad dinámica bajo una presión normal	[Pa s]
e	(= 2,71828) base de logaritmo natural	
α	coeficiente de presión-viscosidad	[m ² /N]
p	presión	[N/m ²]

El cálculo de la condición de lubricación según la teoría EHD para lubricantes a base de aceite mineral tiene en cuenta estos factores. El comportamiento presión/viscosidad de algunos lubricantes está indicado en el diagrama superior de la página

128. La zona a-b para aceites minerales es la base para el diagrama a_{23} . También los aceites minerales con aditivos EP tienen valores α en esta zona.

Cuando el coeficiente de presión - viscosidad ejerce una enorme influencia sobre la razón de viscosidad, por ejemplo en diésteres, hidrocarburos fluorados, o aceites de silicona, han de tenerse en cuenta los factores de corrección B_1 y B_2 para la razón de viscosidad κ , siendo

$$\kappa_{B1,2} = \kappa \cdot B_1 \cdot B_2$$

donde:

- κ razón de viscosidad en aceites minerales
- B_1 factor de corrección para el comportamiento presión/viscosidad
= $\alpha_{\text{aceite sintético}} / \alpha_{\text{aceite mineral}}$
- B_2 factor de corrección para diferentes densidades
= $\rho_{\text{aceite sintético}} / \rho_{\text{aceite mineral}}$

El diagrama inferior de la página 128 muestra la dependencia entre la densidad ρ y la temperatura para aceites minerales. La curva para un aceite sintético puede evaluarse si se conoce la densidad ρ a 15 °C.

Elección del sistema de lubricación

Al construir una máquina es aconsejable determinar lo más pronto posible si se desea lubricar los rodamientos con aceite o con grasa. En casos especiales puede preverse una lubricación con lubricantes sólidos (véase la publicación FAG no. WL 81 115 "Lubricación de rodamientos")

Lubricación con grasa

La lubricación con grasa se usa en un 90% de todas las aplicaciones de rodamientos.

Las ventajas esenciales de una lubricación con grasa son:

- Diseño sencillo
- Buenas propiedades obturadoras de la grasa
- Larga vida de servicio con bajos costes de mantenimiento

Bajo condiciones normales de servicio y ambientales, la lubricación por grasa puede realizarse muchas veces como lubricación a vida (for-life).

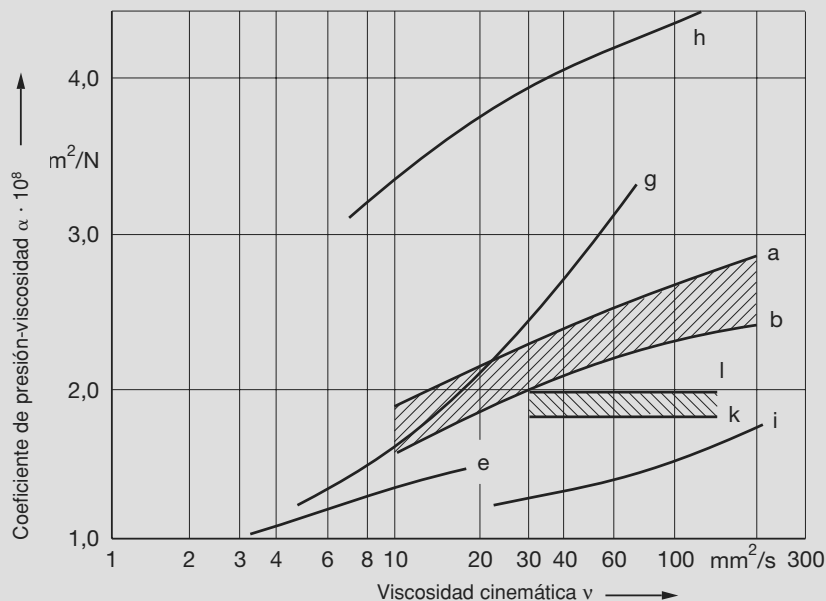
En el caso de elevadas sollicitaciones (velocidad, temperatura, carga) debe preverse una relubricación a intervalos adecuados. En el caso de períodos de reengrase cortos hay que prever una bomba para inyección de la grasa, canales de alimentación de la grasa, eventualmente un disco regulador de la grasa y un recinto colector para la grasa usada.

Lubricación y mantenimiento

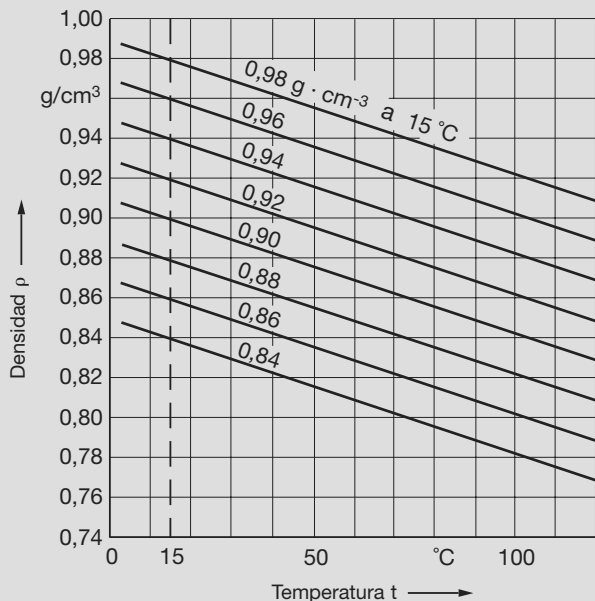
Película lubricante · Sistemas de lubricación

▼ Coeficiente de presión - viscosidad α en función de la viscosidad cinemática ν , válido para la zona de presiones desde 0 a 2000 bar

- a-b Aceite mineral
- e Diésteres
- g Triarilofosfatoésteres
- h Hidrocarburos fluorados
- i Poliglicoles
- k, l Siliconas



▼ Dependencia entre la densidad ρ de los aceites minerales y la temperatura t



Lubricación y mantenimiento

Sistemas de lubricación · Elección de la grasa

Lubricación con aceite

Este sistema es práctico si los elementos próximos a la máquina deben lubricarse también con aceite o cuando sea necesario evacuar calor mediante el lubricante. La evacuación de calor puede ser necesaria en el caso de elevadas cargas y / o velocidades o si el rodamiento está expuesto a calor externo

Al lubricar con pequeñas cantidades de aceite (lubricación con cantidades mínimas), como por ejemplo lubricación por goteo, por neblina de aceite o por aceite-aire, el rozamiento por amasamiento y, por lo tanto, el rozamiento del rodamiento se mantienen bajos.

Al usar aire como medio portante de la lubricación puede conseguirse una alimentación dirigida y una corriente favorable para la obturación.

La lubricación por inyección de aceite con grandes cantidades facilita la alimentación precisa de todos los puntos de contacto en rodamientos altamente revolucionados y una buena refrigeración.

Elección de la grasa apropiada

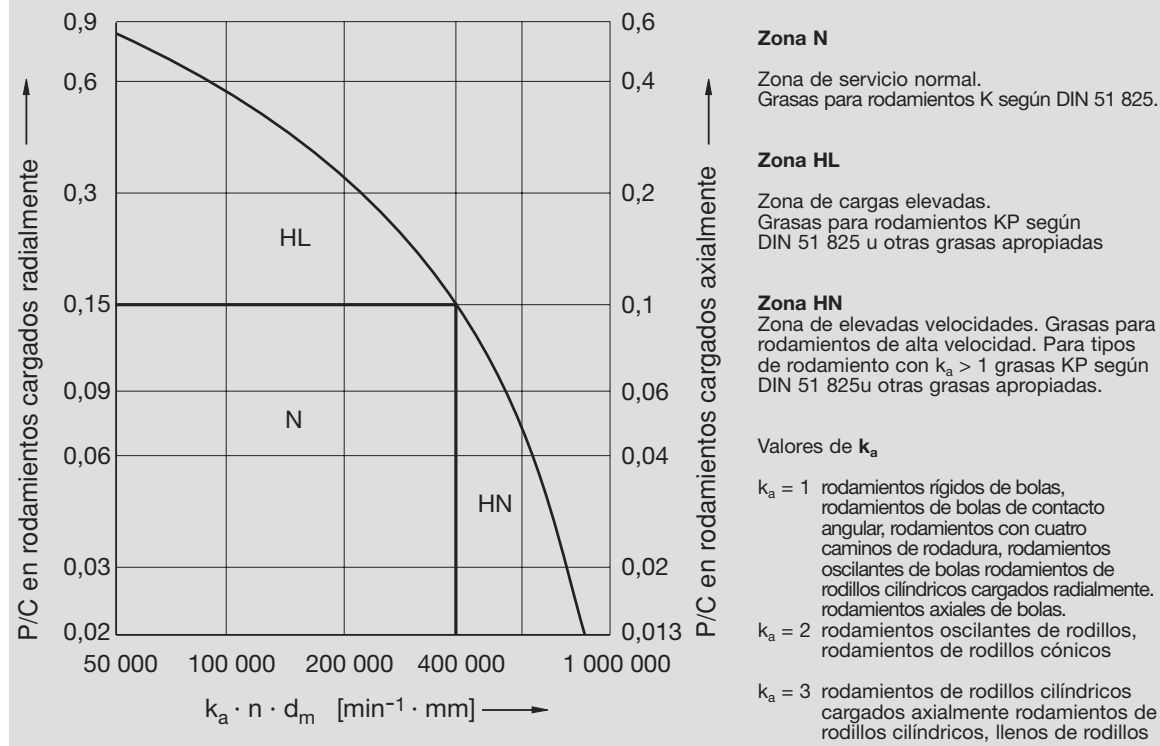
Las grasas se distinguen por sus espesantes de distinta composición, y por los aceites básicos. Por regla general, las normas para la lubricación con aceite se aplican para los aceites básicos de las grasas.

Las grasas convencionales contienen metales saponificados como espesantes y aceite básico mineral. Están disponibles en diferentes clases de penetración (clases NLGI). El comportamiento de estas grasas varía mucho frente a condiciones ambientales como temperatura y humedad. El diagrama de abajo contiene un esquema para la elección de la grasa en función de la carga y la velocidad

Siendo

P/C	carga específica	
P	carga dinámica equivalente	[kN]
C	capacidad de carga dinámica	[kN]
k_a	factor para el tipo de rodamiento	
n	velocidad	[min ⁻¹]
d_m	diámetro medio del rodamiento	[mm]

▼ Elección de la grasa según la relación de carga P/C y el factor de velocidad del rodamiento $k_a \cdot n \cdot d_m$





Lubricación y mantenimiento

Elección de la grasa · Lubricación de rodamientos con grasa

En aplicaciones muy cercanas a la curva límite, la temperatura de régimen suele ser alta, por lo cual son necesarias grasas especiales para elevadas temperaturas. Informaciones más detalladas sobre la elección de grasa se encuentran en la publicación FAG no. WL 81 115 "Lubricación de rodamientos".

Las grasas para rodamientos Arcanol de FAG son lubricantes con los cuales pueden satisfacerse casi todas las exigencias de lubricación de rodamientos. Las propiedades físico-químicas, indicaciones sobre los campos de aplicación e informaciones sobre la disponibilidad se encuentran en las páginas 679 a 681 y en la publicación FAG no. WL 81 116 "Arcanol · Grasa para rodamientos aprobada".

Lubricación de rodamientos con grasa

En los rodamientos FAG lubricados a vida, alrededor del 30 % de los espacios libres se llenan de grasa, que se distribuye durante las primeras horas de servicio. Después, el rodamiento gira solamente con un 30 a 50 % del rozamiento inicial.

FAG suministra numerosos rodamientos engrasados:

- rodamientos rígidos de bolas, en las ejecuciones .2ZR (.2Z), .2RSR (.2RS) y .2RSD
- rodamientos de bolas de contacto angular, de doble hilera en las ejecuciones B.TVH, .2ZR y .2RSR
- Rodamientos de husillos para altas velocidades de las series HSS70 y HSS719 así como rodamientos híbridos de cerámica para husillos de las series HCS70 y HCS719
- Rodamientos oscilantes de bolas de la ejecución .2RS
- Rodamientos con dos hileras de rodillos cilíndricos sin jaula, de las series NNF50B.2LS.V y NNF50C.2LS.V
- Rodamientos S de las series 162, 362, 562, 762.2RSR

Si se usan rodamientos que no han sido rellenados con grasa por FAG, tendrá que hacerse cargo de esto el usuario. Se recomienda:

- Llenar las concavidades completamente, pero en rodamientos altamente revolucionados, ($n \cdot dm > 500\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$) solamente un 20 hasta un 35% del espacio libre
- Cantidad de llenado del espacio del alojamiento junto al rodamiento generalmente solo hasta tal nivel (60%) en que la grasa introducida tenga sitio.
- Un llenado completo de los rodamientos y espacios de los alojamientos con $n \cdot dm < 50\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ es posible

En rodamientos altamente revolucionados conviene llevar a cabo una puesta en marcha para el

reparto de la grasa, ver publicación WL 81 115/3 "Lubricación de rodamientos".

La duración de servicio de una grasa es el tiempo que transcurre desde el arranque hasta la avería del rodamiento causada por un fallo de la lubricación. La curva para la duración de un determinado tipo de grasa para una probabilidad de fallo del 10% se describe mediante F_{10} . Se define a raíz de ensayos de laboratorio en condiciones muy cercanas a la práctica. El usuario muchas veces desconoce la denominación F_{10} , motivo por el cual FAG define el período de engrase t_f como valor de orientación para la duración mínima de servicio de las grasas standard. Por razones de seguridad, el período de reengrase (ver abajo) debe elegirse mucho más corto que el tiempo de duración de servicio de la grasa.

La curva del período de engrase en el diagrama 131 da suficiente seguridad incluso para aquellas grasas que solamente satisfagan las exigencias mínimas de la norma según DIN 51825. Los períodos de engrase dependen del factor de velocidad $k_f \cdot n \cdot d_m$, relativo al rodamiento. En algunos tipos de rodamientos se indican diferentes factores k_f . Los valores k_f mayores son para las series más pesadas (con mayor capacidad de carga) del correspondiente tipo de rodamientos, los valores k_f menores para las series más ligeras. El diagrama sirve para las grasas saponificadas a base de litio y una temperatura de hasta 70 °C, medida en el aro exterior, así como para una sollicitación a carga media correspondiente a un valor $P/C < 0,1$.

Sollicitaciones a carga mayores, así como mayores temperaturas originan una reducción del período de engrase. Otra reducción es necesaria bajo condiciones de servicio y de medio ambiente desfavorables, ver publicación FAG no. WL 81 115/3.

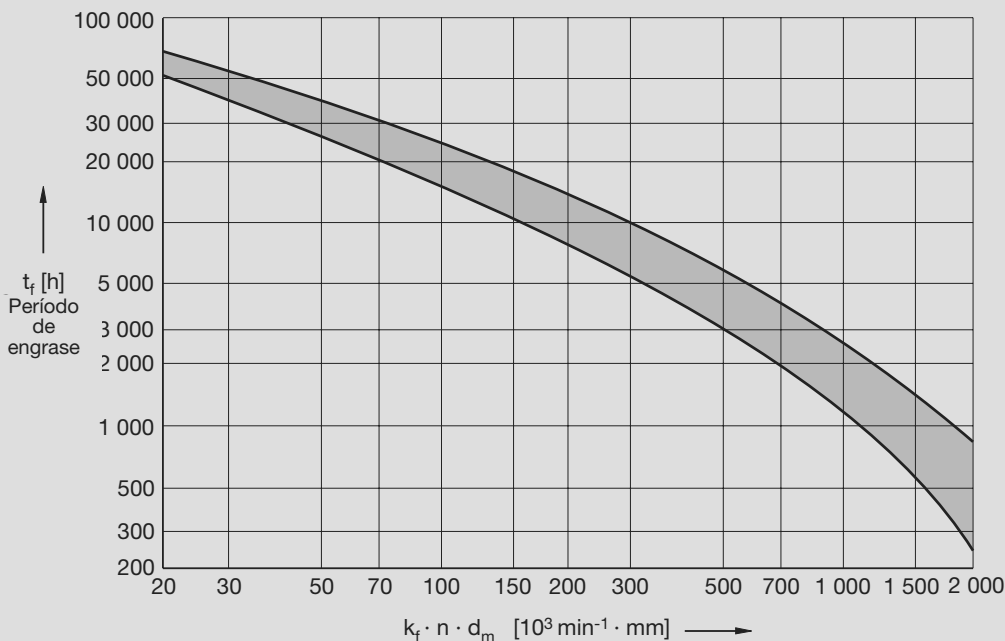
Si la duración de servicio de la grasa es mucho más corta que la duración de vida prevista para el rodamiento, es aconsejable llevar a cabo un reengrase o un cambio de la grasa. Durante el reengrase sólo se consigue en parte el cambio de la grasa vieja por la nueva, por lo cual los intervalos de reengrase deben preverse más cortos (intervalos de reengrase usuales son entre 0,5 y $0,7 \cdot t_f$).

Al relubricar, muchas veces no puede evitarse una mezcla de distintos tipos de grasa. Mezclas de grasa con el mismo espesante pueden considerarse seguras. Detalles sobre miscibilidad de grasas pueden encontrarse en la publicación FAG WL 81 115.

Lubricación y mantenimiento

Lubricación de los rodamientos con grasa · Elección del aceite

▼ Periodos de engrase bajo condiciones ambientales favorables. Duración de servicio de la grasa F₁₀ para grasas standard saponificadas a base de litio según DIN 51825, a 70 °C. Probabilidad de fallo del 10%.



Tipo de rodamiento	k_f	Tipo de rodamiento	k_f
Rodamientos rígidos de bolas de una hilera	0,9 ... 1,1	Rodamientos de rodillos cilíndricos de una hilera	3 ... 3,5*)
Rodamientos de bolas de dos hileras	1,5	Rodamientos de rodillos cilíndricos de dos hileras	3,5
Rodamientos de bolas de una hilera de contacto angular	1,6	Rodamientos de rodillos cilíndricos sin jaula	25
Rodamientos para husillos $\alpha = 15^\circ$	2	Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos	90
Rodamientos para husillos $\alpha = 25^\circ$	0,75	Rodamientos de agujas	3,5
Rodamientos con cuatro caminos de rodadura	0,9	Rodamientos de rodillos cónicos	4
Rodamientos oscilantes de bolas	1,6	Rodamientos oscilantes de rodillos con una hilera	10
Rodamientos axiales de bolas	1,3 ... 1,6	Rodamientos oscilantes de rodillos sin reborde („E“)	7 ... 9
Rodamientos axiales de bolas de contacto angular	5 ... 6	Rodamientos oscilantes de rodillos con reborde central	9 ... 12
Rodamientos axiales de bolas de contacto angular de dos hileras	1,4		

*) para rodamientos solicitados constantemente con cargas radiales y axiales; para una sollicitación a carga alterna vale $k_f = 2$

Elección del aceite apropiado

Para la lubricación de rodamientos pueden utilizarse aceites minerales o sintéticos. Los aceites minerales son los más utilizados. Deben satisfacer las exigencias mínimas de la norma DIN 51 501. Aceites especiales, a menudo aceites sintéticos, se utilizan para condiciones de servicio extremas o para demandas específicas de estabilidad del aceite. Características de los aceites y el efecto de los aditivos están descritos en la publicación FAG WL 81 115 “Lubricación de rodamientos”.

Viscosidad del aceite recomendada

El tiempo de funcionamiento a la fatiga alcanzable y la seguridad contra el desgaste son tanto mayores cuanto mejor estén separadas las superficies de contacto por una película lubricante. Debe elegirse un aceite de elevada viscosidad de servicio. Pueden alcanzarse valores muy elevados de vida si la razón de viscosidad alcanza $\alpha = v / v_1 = 3...4$ (v = viscosidad de servicio, v_1 = viscosidad relativa, ver página 42).

Lubricación y mantenimiento

Elección del aceite · Lubricación de los rodamientos con aceite

Sin embargo, los aceites altamente viscosos también tienen desventajas. Elevada viscosidad significa mayor rozamiento del lubricante. A temperaturas bajas y normales, pueden aparecer problemas en la aportación y drenaje del aceite. Debe seleccionarse una viscosidad del aceite tal que se alcance la máxima vida a fatiga y se asegure una correcta aportación del aceite al rodamiento.

A veces, p. e. en ejes lentos de transmisiones, no se alcanza la viscosidad menor a la recomendada. El aceite deberá contener eficaces aditivos EP y su aptitud para la aplicación probada con el aparato FAG FE8. Si esto no se observa, deberá preverse una reducción de la vida a fatiga y desgaste en las áreas funcionales (ver cálculo de vida ampliada, página 40). La reducción de vida y el desgaste dependen del desvío respecto a los valores previstos. Cuando los aceites minerales están fuertemente aditivados, debe prestarse atención a la compatibilidad con los materiales de la jaula y las obturaciones (ver pág. 85).

Elección del aceite según las condiciones de servicio

Bajo condiciones de servicio normales (presión atmosférica, temperatura máxima 100 °C, en baño de aceite y 150 °C en circulación de aceite, relación de cargas $P/C < 0,1$, velocidades hasta velocidad límite) pueden utilizarse aceites sin aditivos, pero es preferible con inhibidores de corrosión y envejecimiento, (letra L en DIN 51 502). Si la viscosidad recomendada no puede mantenerse deben preverse aceites con adecuados aditivos EP.

Para altas velocidades ($k_a \cdot n \cdot d_m > 500.000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$), deberá utilizarse un aceite que sea estable a la oxidación, con buenas propiedades antiespumantes y una relación favorable de viscosidad-temperatura. En la puesta en marcha, cuando la temperatura generalmente es baja, se evita un rozamiento elevado por amasamiento y por lo tanto calentamiento; las viscosidades a la mayor temperatura de servicio son suficientes para asegurar una adecuada lubricación

Si los rodamientos están expuestos a grandes cargas ($P/C > 0,1$) o la viscosidad de servicio ν es menor que la viscosidad relativa ν_1 , deberán utilizarse aceites con aditivos antidesgaste (aceites EP, letra P en DIN 51 502). La aptitud de los aditivos EP varía y normalmente depende en gran medida de la temperatura. Su efectividad

solo puede evaluarse con pruebas en rodamientos (aparato FAG FE8).

La elección de aceites para altas temperaturas de servicio principalmente depende de la temperatura límite de servicio y de la relación V-T. Los aceites deben seleccionarse basándose en sus propiedades. Los detalles se encuentran en la publicación FAG WL 81 115/3 "Lubricación de rodamientos".

Lubricación de los rodamientos con aceite

Los rodamientos pueden generalmente abastecerse de aceite por baño de aceite, cantidades mínimas o circulación. A menos que se prevea lubricación por baño, el aceite debe abastecerse a los rodamientos con aparatos de lubricación.

En un **baño de aceite**, el rodamiento está parcialmente inmerso en el aceite. Cuando el eje está en posición horizontal, el elemento rodante inferior debe estar sumergido en el aceite total o parcialmente con el rodamiento estacionario. Cuando el rodamiento gira, el aceite es transportado por los elementos rodantes y la jaula, y distribuido por toda la circunferencia. Para rodamientos con sección asimétrica que transportan aceite por su efecto de bombeo, deben preverse agujeros y conductos de retorno para asegurar la circulación del aceite. Si el nivel del aceite cubre el elemento rodante inferior a elevadas velocidades, el amasamiento elevará la temperatura del rodamiento. El nivel del aceite debe ser mayor si el índice de velocidad $n \cdot d_m$ es menor de $150.000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$. La lubricación por baño de aceite se utiliza generalmente hasta índices de velocidad $n \cdot d_m = 300.000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$. El nivel de aceite debe revisarse con frecuencia.

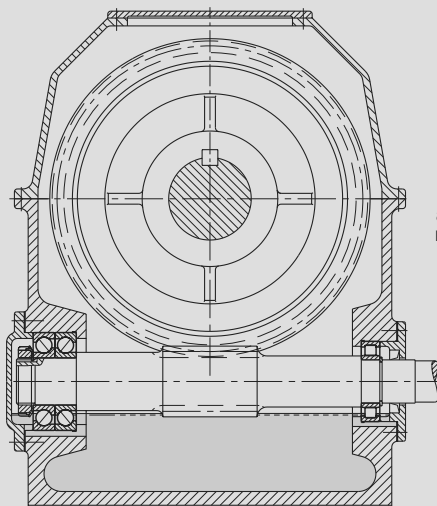
Intervalos de cambio de aceite recomendados para condiciones normales (temperatura del rodamiento hasta 80 °C, baja contaminación) se muestran en el diagrama superior de la página 133. Alojamiento con pequeñas cantidades de aceite requieren frecuentes cambios. Durante el periodo de rodaje, puede necesitarse un temprano cambio de aceite debido a la elevada temperatura y severa contaminación por partículas de desgaste.

En la **lubricación por circulación**, el aceite es llevado a un depósito tras pasar por los rodamientos. Es imprescindible un filtro porque contaminantes en el intersticio de lubricación pueden perjudicar severamente la vida alcanzable (ver pág. 40).

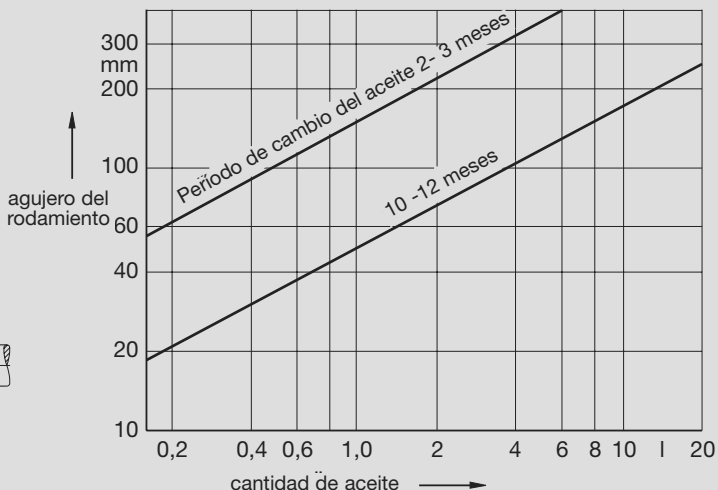
Lubricación y mantenimiento

Lubricación de los rodamientos con aceite

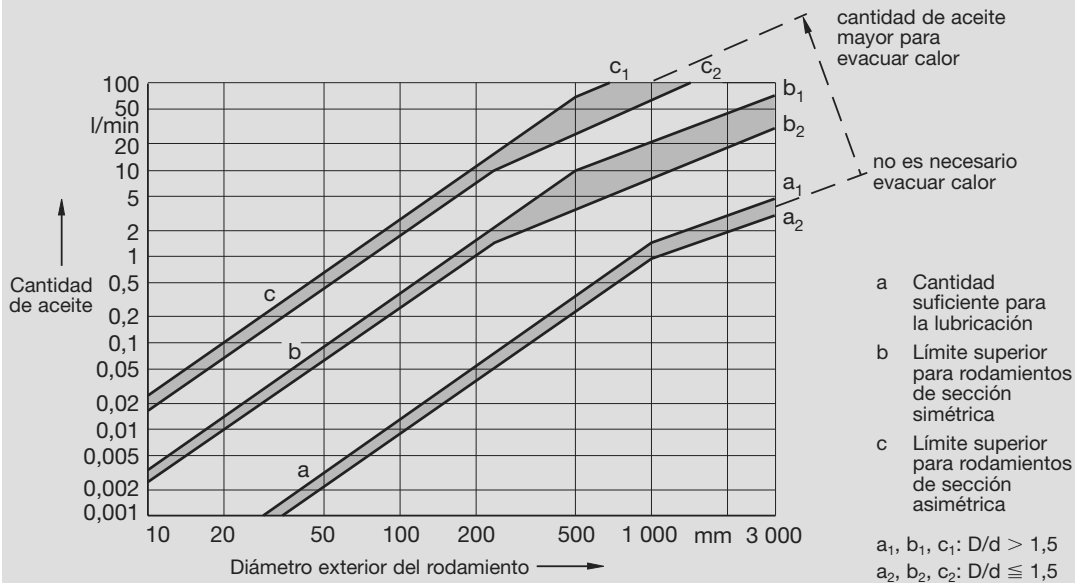
▼ Nivel de aceite en la lubricación por baño de aceite



▼ Cantidad de aceite y período de cambio del aceite en función del agujero del rodamiento



▼ Cantidades de aceite en la lubricación por circulación



Lubricación y mantenimiento

Lubricación de los rodamientos con aceite. Almacenaje

Las cantidades de aceite en circulación son adaptadas a las condiciones de servicio (ver diagrama de la página 133 abajo). Para rodamientos con sección asimétrica (rodamientos de bolas de contacto angular, rodamientos de rodillos cónicos, rodamientos axiales oscilantes de rodillos) debido al efecto transportador se admiten mayores cantidades de flujo de aceite que para rodamientos de sección simétrica. En el caso de querer evacuar partículas abrasivas, o si es necesaria una evacuación del calor, también se prevén mayores cantidades de aceite.

En rodamientos altamente revolucionados, el aceite se inyecta precisamente en el intersticio entre jaula y aro del rodamiento. Con la lubricación por inyección con grandes cantidades de aceite, la potencia perdida es de mayor importancia y es muy difícil evitar un calentamiento de los rodamientos. El límite superior para el factor de velocidad ($n \cdot d_m = 10^6 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ en rodamientos apropiados como son los rodamientos para husillos) aplicable al caso de una lubricación por circulación, puede rebasarse en mucho cuando se lubrica por inyección de aceite.

Con la **lubricación con cantidades mínimas** de aceite se consigue que el par de rozamiento, y con ello la temperatura de servicio, sean bajos. La cantidad de lubricación necesaria para poder garantizar un abastecimiento adecuado depende en primer lugar del tipo de rodamiento. Por ejemplo los rodamientos de rodillos cilíndricos de dos hileras requieren cantidades extremadamente pequeñas, mientras que los rodamientos con efecto transportador como los rodamientos de bolas de contacto angular necesitan cantidades relativamente grandes, ver también la publicación WL 81 115/3. Se alcanzan factores de velocidad de hasta $1,5 \cdot 10^6 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$.

Almacenaje de rodamientos

Tanto el conservante como el embalaje de los rodamientos FAG han sido diseñados para mantener las propiedades del rodamiento el mayor tiempo posible. Por ello, para su almacenaje y manipulado, deben conocerse ciertas exigencias.

Durante el almacenaje, los rodamientos no deben estar expuestos a los efectos de medios agresivos como gases, neblinas o aerosoles de ácidos, soluciones alcalinas o sales. Debe evitarse la exposición solar directa porque puede causar grandes variaciones de temperatura en el embalaje, aparte de los

efectos dañinos de la radiación UV. La formación de agua de condensación se evita bajo las siguientes condiciones:

- Temperaturas entre +6 a +25 °C, cortos periodos a +30 °C.
- Variación de temperatura día / noche $\leq 8 \text{ K}$.
- Humedad relativa del aire $\leq 65 \%$

Periodos permisibles de almacenaje de rodamientos

Con la preservación estándar, los rodamientos pueden almacenarse durante 5 años, si se cumplen las condiciones indicadas. De otro modo deberán preverse periodos más cortos.

Si se excede el periodo de almacenaje permitido, se recomienda revisar el rodamiento en cuanto a su estado de conservación y oxidación, antes de utilizarlo. Bajo demanda, FAG puede ayudarle a juzgar el riesgo de largos periodos de almacenaje o el uso de rodamientos viejos.

En casos especiales, los rodamientos se someten a tratamientos especiales tanto para periodos de almacenaje mayores como menores.

Los rodamientos con protecciones (.2ZR) u obturaciones (.2RSR) a ambos lados no deben alcanzar su máximo tiempo de almacenaje. Las grasas contenidas en los rodamientos pueden cambiar sus propiedades fisico-químicas por el envejecimiento. Incluso si se mantiene una mínima capacidad, las reservas de seguridad de la grasa pueden reducirse (ver también la siguiente sección).

Almacenaje de las grasas FAG Arcanol (ver también la página 679)

Las condiciones de almacenaje para rodamientos aplican, análogamente, a las grasas para rodamientos FAG Arcanol. Recomendaciones suplementarias:

- Temperatura entre +6 a +40 °C
- Envases originales llenos y cerrados.

Periodos permisibles de almacenaje de las grasas FAG Arcanol

- 2 años para grasas de clase de consistencia ≥ 2
- 1 año para grasas de clase de consistencia < 2

Durante estos periodos, las grasas para rodamientos Arcanol pueden almacenarse a temperatura ambiente en sus envases originales cerrados sin pérdida de sus cualidades.

Lubricación y Mantenimiento · Montaje y Desmontaje

Almacenaje · Limpieza · Montaje

El tiempo permisible de almacenaje no debe tomarse como un límite rígido. Como compuestos de aceite, espesante y aditivos, las grasas pueden cambiar sus propiedades físico-químicas durante el almacenaje y, por lo tanto, deben utilizarse lo antes posible. Bajo un almacenaje cuidadoso, es decir, observando todas las condiciones descritas, baja temperatura, envases llenos y herméticos, la mayoría de las grasas pueden utilizarse incluso después de 5 años, si se aceptan pequeños cambios.

Deben evitarse elevadas temperaturas y envases parcialmente llenos porque se facilita la separación del aceite básico. En caso de duda, debe inspeccionarse si se han modificado las propiedades físico-químicas. Bajo demanda, FAG puede ayudarle a juzgar el riesgo de largos periodos de almacenaje o el uso de grasas viejas.

Cuando se vayan a almacenar envases abiertos, deberá nivelarse la superficie de la grasa, tapar el envase herméticamente y almacenarlo con el espacio vacío arriba.

Limpieza de los rodamientos sucios

Para limpiar los rodamientos pueden usarse gasolina de lavado, petróleo, alcohol de quemar, dewatering fluids y detergentes acuosos neutros o alcalinos. Debe tenerse en cuenta que la gasolina de lavado, el petróleo y los dewatering fluids son inflamables y los agentes alcalinos son cáusticos.

Los hidrocarburos clorados corren el peligro de ocasionar incendios, explosiones y descomposiciones; además, son nocivos para la salud. Tanto estos peligros como las medidas protectoras adecuadas se describen detalladamente en la hoja informativa ZH1/425 de la Asociación Central de las Mutuas Industriales de Accidentes.

Para limpiar los rodamientos pueden usarse pinceles, cepillos o trapos no deshilachados. Después del lavado y de la evaporación del detergente fresco, debe evitarse la corrosión en los rodamientos protegiéndolos inmediatamente. Si los rodamientos contienen residuos resinosos de aceites o grasas, se recomienda una limpieza previa mecánica y un remojo en un detergente acuoso altamente alcalino.

Montaje y desmontaje

Los rodamientos son elementos de máquina de alta exigencia, cuyas partes tienen una elevada precisión. Para garantizar su máximo rendimiento debe tenerse en cuenta el montaje y el desmontaje, al elegir el tipo y la ejecución de rodamiento y diseñar las partes adyacentes.

La aplicación de medios apropiados durante el montaje y el desmontaje de rodamientos, así como el cuidado y la limpieza en el lugar de montaje, son condiciones previas para una larga vida de servicio. El cuadro sinóptico de la página 136 informa sobre los sistemas mecánicos, térmicos*) e hidráulicos que están a disposición para el montaje y desmontaje de rodamientos de diferentes tipos y tamaños. A continuación se detallarán las características principales a tener en cuenta durante el montaje y los procedimientos de montaje convencionales.

En cuanto a indicaciones más precisas sobre el montaje y desmontaje, ver la publicación FAG WL 80 100 "Montaje de rodamientos".

La publicación FAG WL 80 200 "Sistemas y dispositivos para el montaje y el mantenimiento de rodamientos" contiene el programa FAG correspondiente a este apartado.

















































FAG lleva ofreciendo desde hace muchos años un eficaz diagnóstico de deterioros. El usuario también puede mantener sus instalaciones y máquinas usando los aparatos portátiles FAG electrónicos de medición, ver también el apartado "Programa de servicios FAG", página 685 y sig.

*) Si por ejemplo al desmontar un rodamiento mediante un soplete se alcanza una temperatura de aproximadamente unos 300 °C o más, los materiales fluorados pueden desprender vapores y gases nocivos para la salud. FAG usa materiales fluorados en obturaciones de caucho fluorado (FKM, FPM, por ejemplo VITON®) o en grasas lubricantes fluoradas tales como la grasa FAG Arcanol L79V. De no poder evitar la temperatura elevada ha de observarse la hoja de seguridad válida para el material fluorado en cuestión. Esta hoja puede conseguirse bajo demanda.

Montaje y desmontaje

Cuadro sinóptico: Herramientas y procedimientos

▼ Cuadro sinóptico: herramientas y procedimientos para el montaje y desmontaje · símbolos

Tipo de rodamiento	Agujero del rodamiento	Tamaño del rodamiento	Montaje			
			con calentamiento			
 Rodamiento rígido de bolas  Rodamiento de rodillos cónicos	cilíndrico	pequeño	   			
 Rodamiento de bolas de contacto angular  Rodamiento oscilante de una hilera de rodillos		mediano				
 Rodamiento con cuatro caminos de rodadura  Rodamiento oscilante de rodillos		grande				
 Rodamiento oscilante de bolas						
 Rodamiento de rodillos cilíndricos	cilíndrico	pequeño	   			
		mediano				
		grande				
 Rodamientos axial de bolas	cilíndrico	pequeño	   			
 Rodamiento axial de bolas de contacto angular		mediano				
 Rodamiento axial de rodillos cilíndricos		grande				
 Rodamiento axial oscilante de rodillos						
 Rodamiento oscilante de bolas Rodamiento oscilante de bolas con manguito de montaje	cónico	pequeño	   			
 Rodamiento oscilante de una hilera de rodillos Rodamiento oscilante de una hilera de rodillos con manguito de montaje		mediano				
 Rodamiento oscilante de rodillos Rodamiento oscilante de rodillos con manguito de montaje Rodamiento oscilante de rodillos con manguito de desmontaje  Manguito de desmontaje		grande				
 Manguito de desmontaje						
 Rodamiento con dos hileras de rodillos cilíndricos	cónico	pequeño	   			
		mediano				
		grande				

	Proce- dimiento hidráulico	Desmontaje		Proce- dimiento hidráulico	Símbolos
		con calen- tamiento	sin calentamiento		
			 		Baño de aceite Placa de calentamiento Armario de calentamiento
		 			Aparato de calentamiento por inducción Bobina inductiva Anillo de calentamiento Martillo y casquillo de impacto
					Prensas hidráulicas y mecánicas Llave de doble gancho Tuercas y llaves de gancho
 			 		Tuercas y tornillos de montaje Tapa fin de eje Trueca hidráulica
			 		Martillo y mandril Extractor Método hidráulico

Montaje y desmontaje

Preparativos · Montaje de rodamientos con agujero y D.E. cilíndricos

Preparativos para el montaje y desmontaje

Informaciones detalladas sobre el montaje y desmontaje están indicadas en las publicaciones FAG WL 80100 "Montaje de rodamientos" y WL 80200 "Métodos y dispositivos para el montaje y mantenimiento de rodamientos".

Antes del montaje conviene estudiar la construcción con ayuda del dibujo de taller. Se esquematizan los diferentes pasos de trabajo a seguir y las temperaturas de calentamiento necesarias, las fuerzas de montaje y las cantidades de grasa. Al tratarse de proyectos de mayor importancia, el montador recibe una instrucción de montaje. En ésta también se especifican los medios de transporte, los dispositivos de montaje, las herramientas de medición, el tipo y la cantidad del lubricante y se describe detalladamente el procedimiento de montaje.

El montador, antes de comenzar con el montaje, debe cerciorarse si el rodamiento a montar coincide con las indicaciones en el plano. Esto requiere conocimientos básicos sobre la estructura de las denominaciones abreviadas (ver apartado "Datos de los rodamientos" en la página 50).

El aceite anticorrosivo que sirve para conservar los rodamientos FAG en el embalaje, no afecta a las grasas estándar (grasas saponificadas de litio con base de aceite mineral) y no tiene que ser lavado antes del montaje. Solamente se limpiarán las superficies de asiento y de contacto.

Sin embargo, cuando se trata de rodamientos de agujero cónico, deberá lavarse el anticorrosivo para garantizar un asiento seguro y fijo en el eje o manguito; véase el apartado "Limpieza de rodamientos sucios" en la página 135.

Los rodamientos han de protegerse a toda costa contra suciedad y humedad para impedir deterioros en las superficies de rodadura. Por ello el lugar de montaje ha de permanecer limpio y libre de polvo. No debe hallarse en la cercanía de máquinas rectificadoras y no conviene usar aire comprimido. Ejes y alojamientos deben estar limpios. Han de eliminarse las capas antioxidantes, los residuos de pintura y la arena de moldear de las piezas fundidas. En las piezas torneadas hay que eliminar las rebabas y suavizar las aristas.

Es necesario controlar la exactitud de las medidas y formas de todas las piezas que vayan a montarse en una aplicación de rodamientos.

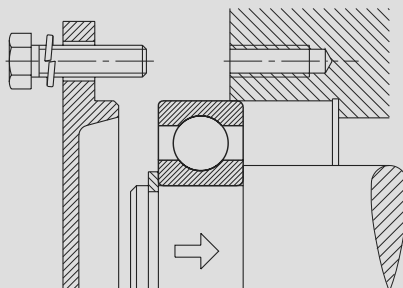
Montaje de rodamientos con agujero y D.E. cilíndricos

Es muy importante que se impidan golpes de martillo directamente sobre los aros de los rodamientos. Cuando se trata de rodamientos no despiezables, la fuerza ha de aplicarse en el aro con ajuste fijo que se vaya a montar primero. En cambio, los aros de rodamientos despiezables pueden montarse por separado.

Rodamientos con diámetros del agujero inferiores a 80 mm pueden ser montados en frío. Es recomendable utilizar una prensa mecánica o hidráulica. De no disponer de una prensa, es posible montar el rodamiento con ayuda de un martillo y un casquillo de impacto. Es apropiado por ejemplo el juego de herramientas FAG 172013 (ver publicación FAG no. WL 80200). En rodamientos autoalineables se utiliza un disco que se apoya en ambos aros del rodamiento y evita que se entrecruce el aro exterior. En los rodamientos con jaulas o cuerpos rodantes que sobresalen lateralmente (por ejemplo algunos de los rodamientos oscilantes de bolas) hay que prever el disco con una acanaladura.

Los rodamientos con agujero cilíndrico se montan en caliente si se ha previsto un ajuste fijo en el eje o si un montaje mecánico a presión fuese demasiado complicado. El diagrama de la página 139 muestra la temperatura de calentamiento [°C], necesaria para un montaje sin dificultades, en función del diámetro del agujero d . Las indicaciones valen para la máxima interferencia, una temperatura ambiente de 20 °C más 30 K, por razones de seguridad.

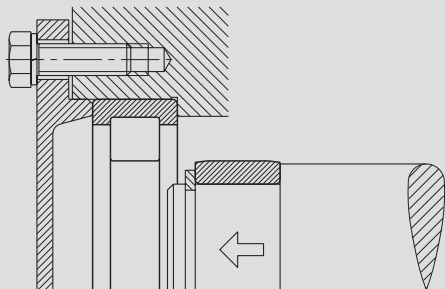
▼ Si el aro interior de un rodamiento no despiezable lleva un ajuste fijo, se prensa primero el rodamiento sobre el eje. Luego, el rodamiento se introducirá en el alojamiento junto con el eje (ajuste deslizante).



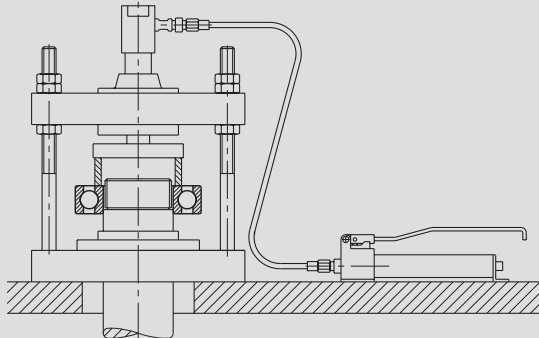
Montaje y desmontaje

Montaje de rodamientos con agujero y D.E. cilíndricos

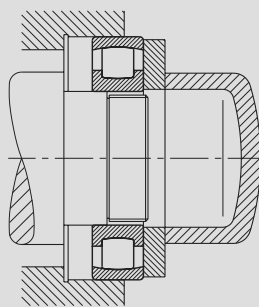
- ▼ En rodamientos de rodillos cilíndricos los aros se montan por separado (ajuste fijo)



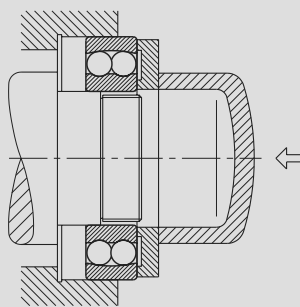
- ▼ Rodamiento rígido de bolas montado con prensa hidráulica



- ▼ Montaje a presión de rodamientos sobre el eje y alojamiento, simultáneamente, con ayuda de a) un disco de montaje sin acanaladura para rodamientos oscilantes con una hilera de rodillos y b) un disco de montaje con acanaladura para algunos rodamientos oscilantes de bolas

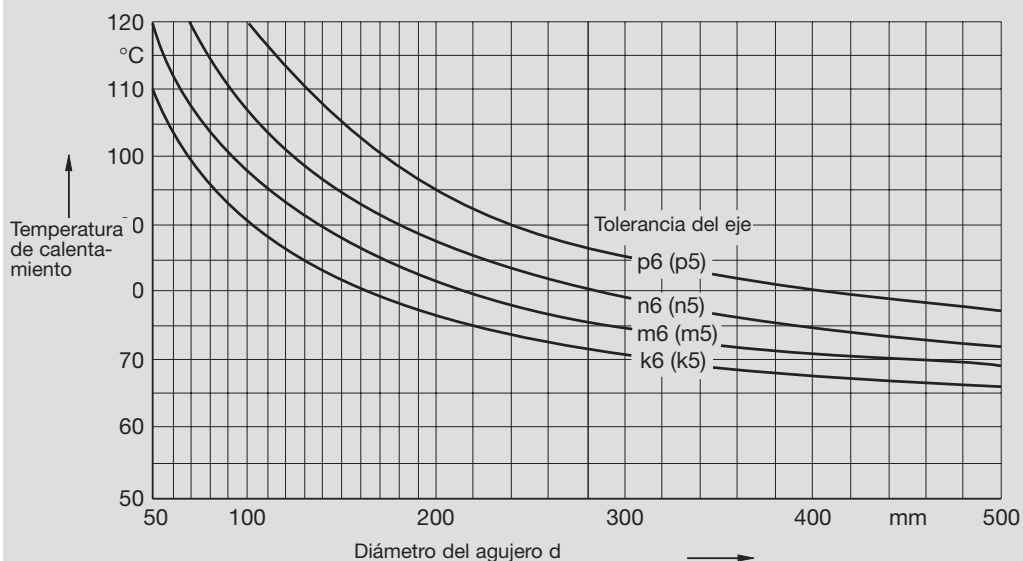


a



b

- ▼ Diagrama para determinar la temperatura de calentamiento



Montaje y desmontaje

Montaje de rodamientos con agujero y D.E. cilíndricos - Montaje de rodamientos con agujero cónico

Los aparatos de calentamiento por inducción permiten calentar los rodamientos de modo rápido, seguro y limpio. Estos aparatos se usan, sobre todo, para montajes en serie. FAG ofrece seis aparatos de calentamiento por inducción. El aparato más pequeño, AWG.MINI, se utiliza para rodamientos a partir de 20 mm de diámetro. El peso máximo del rodamiento es de 20 kg. El campo de aplicación del aparato más grande, AWG40, empieza en 85 mm de agujero. El peso máximo es de aproximadamente 800 kg. Ver la publicación FAG TI no WL 80-47 para mayor información.

Los dispositivos inductivos se utilizan para la extracción y el montaje a presión de los aros interiores de rodamientos cilíndricos con un agujero a partir de 100 mm que no disponen de un reborde fijo o solamente tienen uno. Más indicaciones pueden obtenerse en la publicación no. WL 80 107 "Dispositivos FAG de montaje por inducción".

De manera provisional los rodamientos individuales pueden ser calentados sobre una placa eléctrica de calentamiento. A tal fin hay que tapar el rodamiento con una chapa y darle varias vueltas. Es imprescindible prever un regulador de temperatura como los de las placas FAG de calentamiento 172017 y 172018 (ver publicación no. WL 80 200).

Un calentamiento seguro y limpio de los rodamientos se consigue en un horno de calentamiento con control termostático. Este método, sobre todo se aplica con rodamientos de tamaño pequeño y mediano. Los tiempos de calentamiento son relativamente largos.

Los rodamientos de cualquier tamaño y tipo pueden calentarse por baño de aceite, excepto los rodamientos obturados y engrasados y los rodamientos de precisión. Es recomendable regular la temperatura a través de un termostato (temperatura de 80 a 100 °C). Para garantizar un calentamiento uniforme de los rodamientos, éstos se ponen sobre una rejilla o bien se cuelgan en el baño. Desventaja: peligro de accidente y contaminación ambiental por vapores de aceite, inflamabilidad del aceite caliente, ensuciamiento del rodamiento.

Montaje de rodamientos con agujero cónico

Los rodamientos con agujero cónico se montan directamente sobre el asiento cónico del eje o mediante un manguito de montaje o de desmontaje sobre un eje cilíndrico. Empujando el aro interior sobre el eje o manguito, se consigue el ajuste fijo necesario y se mide comprobando la reducción del juego radial, debida al ensanchamiento del aro interior, o el desplazamiento axial. Los valores para la disminución del juego radial y el desplazamiento en rodamientos oscilantes de rodillos se indican en la página 368. Como medios auxiliares para medir el juego radial en rodamientos mayores son adecuadas las galgas de espesores FAG 172031 y 172032.

Los rodamientos pequeños (hasta aproximadamente 80 mm de diámetro) pueden montarse sobre el asiento cónico del eje o manguito de montaje con la ayuda de una tuerca. La tuerca se aprieta con una llave de gancho. En la publicación no. WL 80 200 también se indican las llaves FAG HN apropiadas. Los manguitos de desmontaje pequeños también se introducen a presión en el intersticio entre eje y agujero del aro interior con la ayuda de una tuerca.

Para los rodamientos de tamaño mediano ya se necesitan enormes fuerzas para apretar la tuerca. En tales casos las tuercas con tornillos tensores facilitan el montaje (no sirven para los rodamientos FAG oscilantes de rodillos, diseño E).

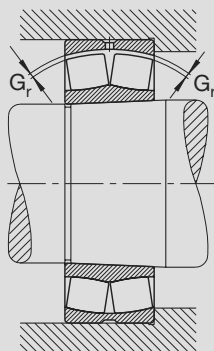
Al tratarse del montaje de rodamientos grandes, es recomendable utilizar un dispositivo hidráulico para montar el rodamiento sobre el eje o para introducir el manguito a presión. Las tuercas hidráulicas son adecuadas para todas las roscas de manguito y eje (véase la publicación no. WL 80 103 "Tuercas hidráulicas FAG").

El método hidráulico sirve para facilitar enormemente el montaje y sobre todo el desmontaje de rodamientos con un diámetro a partir de aproximadamente 160 mm (ver pág. 142; descripción detallada publicación no. WL 80 102 "Procedimiento hidráulico para el montaje y desmontaje de rodamientos"). Para el montaje se recomienda usar un aceite con una viscosidad nominal de $\approx 75 \text{ mm}^2/\text{s}$ a 20 °C (viscosidad nominal a 40 °C: $32 \text{ mm}^2/\text{s}$).

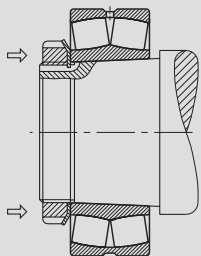
Montaje y desmontaje

Montaje de rodamientos con agujero cónico

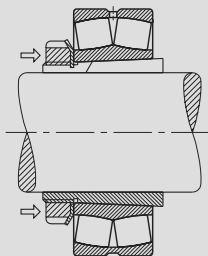
- ▼ En los rodamientos oscilantes de rodillos ha de medirse el juego radial (G_r) simultáneamente sobre ambas hileras de rodillos.



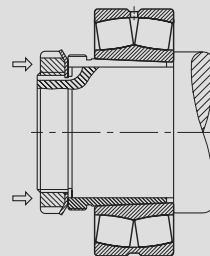
- ▼ Montaje de rodamientos con agujero cónico
- sobre un eje cónico mediante tuerca,
 - sobre un manguito de montaje con la tuerca del manguito de montaje,
 - sobre un manguito de desmontaje con ayuda de la tuerca,
 - sobre un manguito de desmontaje con tuerca y tornillos tensores y
 - sobre un eje cónico con una tuerca hidráulica



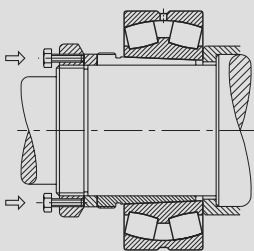
a



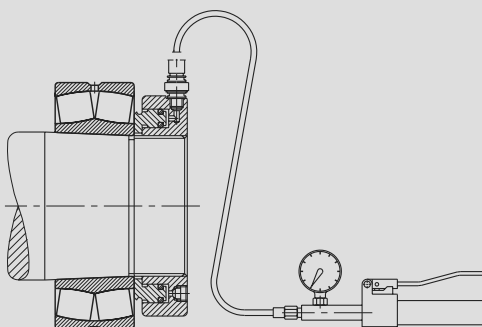
b



c



d



e

Montaje y desmontaje

Desmontaje de rodamientos con agujero y D.E. cilíndricos - Desmontaje de rodamientos con agujero cónico

Desmontaje de rodamientos con agujero y D.E. cilíndricos

Si los rodamientos han de utilizarse de nuevo la herramienta de extracción debe aplicarse al aro con ajuste fijo. Al tratarse de rodamientos no despiezables, se procederá como se indica a continuación: si el aro exterior lleva ajuste fijo, se extraen el rodamiento y el alojamiento del eje y luego el rodamiento se extrae del alojamiento presionando sobre el aro exterior. Si el aro interior tiene ajuste fijo, el eje y el rodamiento se sacan del alojamiento y luego se extrae el aro interior.

Para extraer rodamientos pequeños sirven extractores mecánicos o prensas hidráulicas. El desmontaje se hace más fácil si se prevén ranuras de extracción en el eje o en el alojamiento. La herramienta de extracción puede aplicarse directamente en el aro con ajuste fijo. Para el caso que falten ranuras de extracción, existen dispositivos especiales.

Los dispositivos de montaje por inducción se utilizan, sobre todo, para extraer los aros interiores de rodamientos de rodillos cilíndricos que han sido montados en caliente. El calentamiento se produce rápidamente y los aros quedan libres fácilmente sin que el eje tenga que absorber mucho calor.

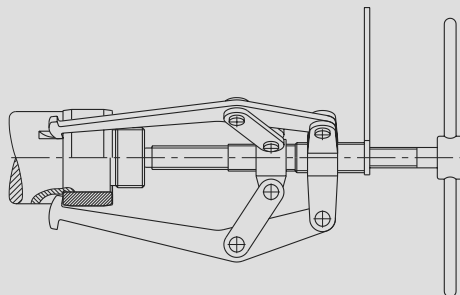
Los rodamientos con asientos cilíndricos también pueden extraerse con ayuda del sistema hidráulico (ver página 143).

Los anillos de calentamiento de metal ligero con hendiduras radiales pueden usarse para desmontar los aros interiores de rodamientos de rodillos cilíndricos sin reborde o con un reborde fijo. Los anillos de calentamiento se calientan sobre una placa eléctrica a 200 - 300 °C; se colocan sobre el aro interior a desmontar y se fijan con los mangos. Al aflojarse la presión de asiento en el eje, los dos aros se extraerán simultáneamente. El aro del rodamiento ha de retirarse del anillo de calentamiento inmediatamente después de ser extraído para que no se sobrecaliente. Si no se dispone de un aparato inductivo o no se han previsto orificios de aceite para el sistema hidráulico, los aros interiores de rodamientos despiezables pueden calentarse, en caso de urgencia, con un quemador anular. En este método conviene proceder con mucho cuidado porque los aros son muy sensibles a un calentamiento irregular y a un sobrecalentamiento local.

Desmontaje de rodamientos con agujero cónico

Para el desmontaje de rodamientos directamente colocados en el asiento cónico del eje o en un manguito de montaje, primeramente se afloja la

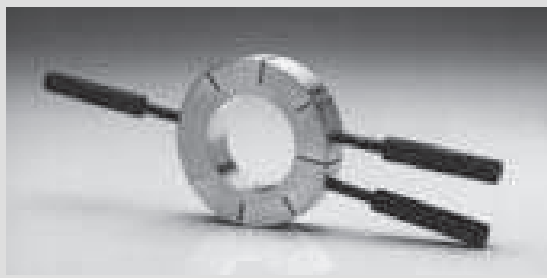
▼ Dispositivo de extracción con tres brazos ajustables para extraer rodamientos despiezables



▼ Dispositivo inductivo para extraer los aros interiores de rodamientos de rodillos cilíndricos



▼ Los aros de calentamiento sirven para desmontar los aros interiores de rodamientos de rodillos cilíndricos



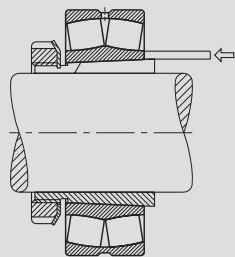
chapa de seguridad del eje o de la tuerca del manguito. A continuación se afloja la tuerca a la distancia suficiente para aguantar el desbloqueo. A continuación ha de extraerse el aro interior del manguito o del eje mediante ligeros golpes, por ejemplo con un martillo o una pieza percutora.

Montaje y desmontaje

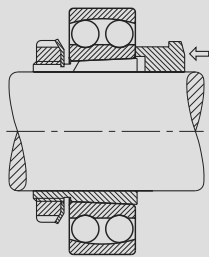
Desmontaje de rodamientos con agujero cónico

▼ Desmontaje de rodamientos con agujero cónico

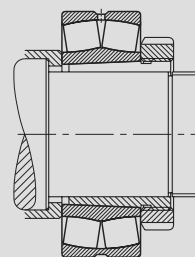
- Desmontaje de un rodamiento oscilante de rodillos con manguito de montaje. El aro interior es extraído del manguito mediante un mandril de metal.
- Desmontaje de un rodamiento oscilante de bolas con manguito de montaje. El empleo de una pieza percutora se evita daños en el rodamiento.
- Desmontaje de un manguito de desmontaje con ayuda de una tuerca de extracción.
- Desmontaje con una tuerca y tornillos tensores aplicados sobre el aro interior a través de un disco.
- Desmontaje de un manguito de desmontaje con una tuerca hidráulica. El manguito de desmontaje al salir se apoya en un aro reforzado.
- Desmontaje de un rodamiento oscilante de rodillos del manguito de desmontaje con el sistema hidráulico. Se inyecta aceite entre las superficies de ajuste. El manguito de desmontaje se desprende de golpe. Dejar la tuerca en el eje



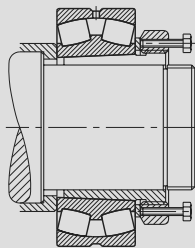
a



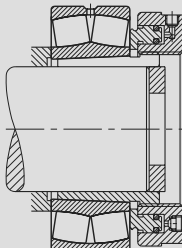
b



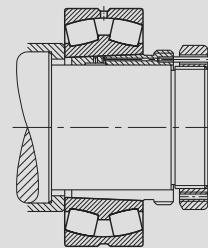
c



d



e



f

Los rodamientos que vienen fijados mediante manguitos de desmontaje se desmontan con ayuda de una tuerca de extracción. En el caso de rodamientos grandes, son necesarias grandes fuerzas. Para este caso, se puede aplicar tuercas de montaje con tornillos de presión. Entre el aro interior y éstos se inserta una arandela.

El desmontaje de manguitos de desmontaje con tuercas hidráulicas es más simple y más económico.

Para facilitar el desmontaje de rodamientos grandes se aplica el sistema hidráulico. Se inyecta aceite entre las superficies de ajuste, de manera que las piezas se pueden desplazar entre sí con poca fuerza, sin peligro de dañar la superficies de contacto.

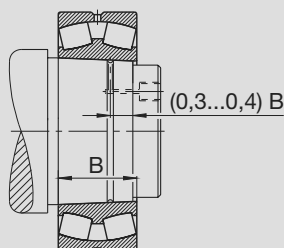
Los ejes cónicos deben tener ranuras para el aceite y agujeros de alimentación. Para generar presión es suficiente disponer de inyector de aceite.

Los grandes manguitos de montaje y de desmontaje ya vienen con las ranuras y agujeros adecuados. Aquí, la presión del aceite es producida a través de una bomba.

Para el desmontaje se utiliza un aceite con una viscosidad de aproximadamente $150 \text{ mm}^2/\text{s}$ a 20°C (viscosidad nominal: $46 \text{ mm}^2/\text{s}$ a 40°C). Los aditivos anticorrosión en el aceite sirven para disolver herrumbre de contacto.

En los rodamientos con agujero cónico, se inyecta aceite entre las superficies de ajuste. Dado que la unión prensada se desprende de golpe, ha de limitarse el movimiento del rodamiento o del manguito a través de una tuerca

▼ Posición de las ranuras de aceite para desmontar hidráulicamente un rodamiento oscilante de rodillos de un asiento cónico





160, 161, 60, S60, 618, 62, S62, 622, 623, 63, S63, 64



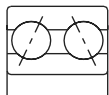
.2ZR (.2Z)



.2RSR (.2RS)



72B, 73B



32B, 33B



32, 33



33DA



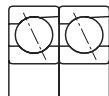
32B.2ZR
33B.2ZR



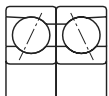
32B.2RSR
33B.2RSR



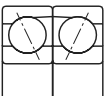
B70, B719, B72
HCS70, HCS719
HSS70, HSS719



Disposición
en tandem



Disposición
en 0



Disposición
en X



QJ2, QJ3



N2



12, 13
22, 23



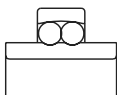
22.2RS
23.2RS



12K, 13K
22K, 23K



22K.2RS



112



Manguito
de montaje



NU10, 19
2, 22, 23, 3



NJ2, 22
23, 3



NUP2, 22
23, 3



N2, 3



NN30ASK



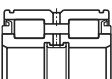
NJ23VH



NCF29V
NCF30V



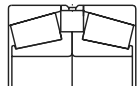
NNCV49V



NNF50B.2LS.V
NNF50C.2LS.V



302, 303, 313, 320, 322
323, 329, 330, 331, 332, T.....



313N11CA



K, KH, KHM, KL, KLM, KM
(con dimensiones en pulgadas)



202, 203



202K
203K



Manguito
de montaje



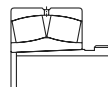
213, 222, 223, 230, 231
232, 233, 239, 240, 241



213K, 222K, 223K, 230K
231K, 232K, 239K
240K30, 241K30



Manguito
de montaje



Manguito
de desmontaje



Rodamientos rígidos de bolas

Rodamientos de bolas de contacto angular,
de una hilera

Rodamientos de bolas de contacto angular,
de doble hilera

Rodamientos para husillos

Rodamientos con cuatro caminos de rodadura

Rodamientos oscilantes de bolas,
con agujero cilíndrico y cónico,
manguito de montaje

Rodamientos de rodillos cilíndricos,
de una hilera
Rodamientos de rodillos cilíndricos,
de doble hilera

Rodamientos de rodillos cilíndricos,
llenos de rodillos

Rodamientos de rodillos cónicos
Rodamientos de rodillos cónicos, ajustados
Rodamientos de rodillos cónicos
con dimensiones en pulgadas

Rodamientos oscilantes de una hilera
de rodillos, con agujero cilíndrico
y cónico, manguito de montaje

Rodamientos oscilantes de rodillos,
con agujero cilíndrico y cónico,
manguito de montaje y desmontaje