

Apéndice K. Selección de Rodamientos por Catalogo SKF

La selección de rodamientos se realizó bajo catalogo SKF, el cual proporciona una gran variedad de rodamientos y facilita el procedimiento de cálculo para escoger el rodamiento óptimo para cada necesidad.

Para este cálculo, se requirió de los datos de entrada a los cuales debe ajustarse el rodamiento, tales como el diámetro interno, las fuerzas a soportar, la velocidad de giro, el tipo de rodamiento, el material de fabricación, la temperatura de operación, la vida útil, entre otros. Estos datos se muestran en la Tabla K1.

Tabla K1

Datos de entrada para los rodamientos.

Datos	Punto B	Punto C
F_x	0 [N]	100 [N]
F_y	255,563 [N]	113,163 [N]
F_z	44,118 [N]	53,288 [N]
F_r	259,280 [N]	125,1 [N]
d	25 [mm]	
RPM	729 [RPM]	
Tipo de rodamiento	Rígido de bolas 1 hilera	
Material	Acero inoxidable	
Temperatura de operación	50 [°C]	
Vida útil	25000 horas	
Contaminación	Gran limpieza	

Considerando d y el tipo de sellado que debe traer el rodamiento, se tomaron los rodamientos de 25 mm mostrados en la Tabla K2 y se consideraron aquellos con denominación 2Z, los cuales poseen un sellado integral.

Tabla K2

Catalogo de SKF para rodamientos de 25 mm.

Dimensiones principales			Capacidad de carga		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
d	D	B	básica dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite ¹⁾		Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado ¹⁾
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	–	
25	37	7	4,36	2,6	0,125	–	11 000	0,022	► 61805-2RS1	–
	37	7	4,36	2,6	0,125	38 000	19 000	0,022	► 61805-2RZ	–
	37	7	4,36	2,6	0,125	38 000	24 000	0,022	► 61805	–
	42	9	7,02	4,3	0,193	–	10 000	0,045	► 61905-2RS1	–
	42	9	7,02	4,3	0,193	36 000	18 000	0,045	► 61905-2RZ	–
	42	9	7,02	4,3	0,193	36 000	22 000	0,045	► 61905	–
	47	8	8,06	4,75	0,212	32 000	20 000	0,055	► 16005	–
	47	12	11,9	6,55	0,275	32 000	20 000	0,078	► 6005	–
	47	12	11,9	6,55	0,275	–	9 500	0,081	► 6005-2RSH	6005-RSH
	47	12	11,9	6,55	0,275	32 000	16 000	0,08	► 6005-2RSL	6005-RSL
	47	12	11,9	6,55	0,275	32 000	16 000	0,083	► 6005-2Z	6005-Z
	47	16	11,2	6,55	0,275	–	9 500	0,11	63005-2RS1	–
	52	15	14,8	7,8	0,335	28 000	18 000	0,13	► 6205	–
	52	15	14,8	7,8	0,335	–	8 500	0,13	► 6205-2RSH	6205-RSH
	52	15	14,8	7,8	0,335	28 000	14 000	0,13	► 6205-2RSL	6205-RSL
	52	15	14,8	7,8	0,335	28 000	14 000	0,13	► 6205-2Z	6205-Z
	52	15	17,8	9,3	0,4	28 000	18 000	0,12	6205 ETN9	–
	52	18	14	7,8	0,335	–	8 500	0,13	62205-2RS1	–
	62	17	23,4	11,6	0,49	24 000	16 000	0,23	► 6305	–
	62	17	23,4	11,6	0,49	–	7 500	0,24	► 6305-2RSH	6305-RSH
	62	17	23,4	11,6	0,49	24 000	13 000	0,23	► 6305-2RZ	6305-RZ
	62	17	23,4	11,6	0,49	24 000	13 000	0,23	► 6305-2Z	6305-Z
	62	17	26	13,4	0,57	24 000	16 000	0,22	6305 ETN9	–
	62	24	22,5	11,6	0,49	–	7 500	0,32	62305-2RS1	–
	80	21	35,8	19,3	0,815	20 000	13 000	0,54	6405	–

Nota: Adaptado de *Rodamientos* (p. 272) por Svenska Kullagerfabriken SKF, 2019, Grupo SKF 2019.

Los rodamientos para verificar son: W 6005-2Z, W 6205-2Z y W 6305-2Z. Los datos de rendimiento de estos rodamientos se verificaron en la página oficial de SKF, ya que sus valores son inferiores a los presentados en el catálogo. A continuación, se muestra la Tabla K3 con los datos de rendimiento para cada uno.

Tabla K3

Factores de cálculo para cada rodamiento.

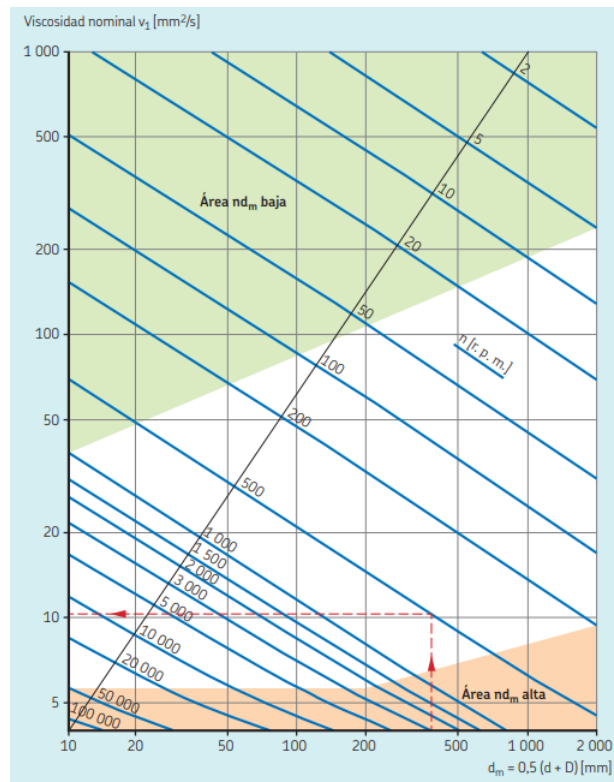
Tipo de rodamiento	d [mm]	D [mm]	b [mm]	C [kN]	C ₀ [kN]	P _u [kN]	v _{Ref} [RPM]	v _{Lim} [RPM]	k _r	f ₀
W 6005-2Z	25	47	12	8,71	5,85	0,25	32000	20000	0,03	14,5
W 6205-2Z		52	15	11,7	7,65	0,335	30000	15000	0,03	13,8
W 6305-2Z		62	17	17,8	11,2	0,48	26000	13000	0,035	13,2

Seguido de esto, se procedió inicialmente con el apartado de lubricación, donde se utilizó la Grafica K1 para obtener el valor de viscosidad nominal y se requiere conocer el valor de d_m el cual se calcula como:

$$d_m = 0,5 * (d + D)$$

Grafica K1

Cálculo de la viscosidad nominal.



Nota: Adaptado de *Rodamientos* (p. 101) por Svenska Kullagerfabriken SKF, 2019, Grupo SKF 2019.

Con el valor de viscosidad nominal hallado, se procedió a encontrar el tipo de lubricante a utilizarse mediante la Grafica K2. Luego, se hallaron los valores de e , X y Y para rodamientos rígidos de bolas de 1 hilera y juego normal mediante la Tabla K4.

Tabla K4

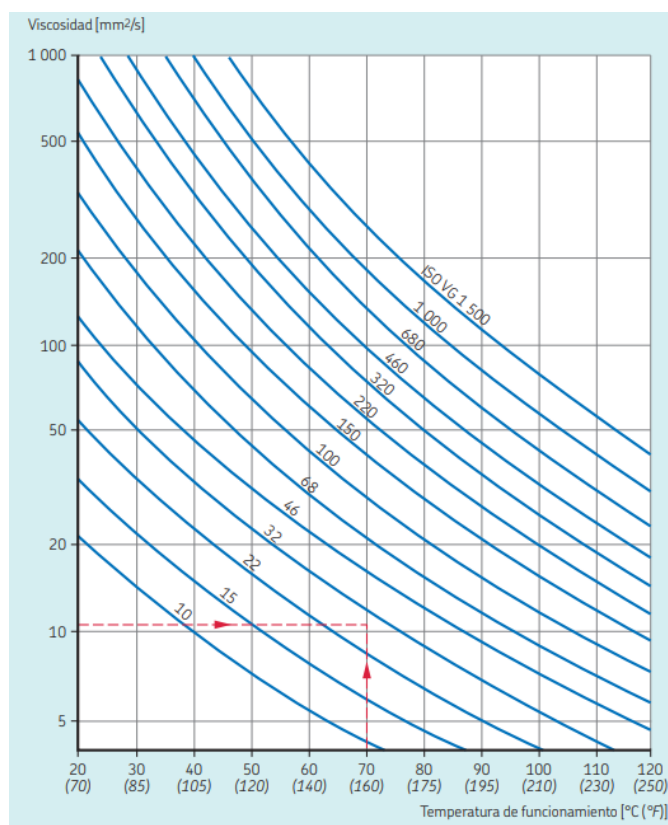
Factores de cálculo para rodamientos rígidos de bolas.

$f_0 F_d / C_0$	Rodamientos de una hilera y de dos hileras Juego normal			Rodamientos de una hilera Juego C3			Juego C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,3	0,29	0,46	1,88	0,38	0,44	1,47
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71	0,4	0,44	1,4
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,3
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,3	0,56	1,45	0,4	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,5	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,1	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1
6,89	0,44	0,56	1	0,54	0,46	1	0,56	0,44	1

Nota: Adaptado de *Rodamientos* (p. 257) por Svenska Kullagerfabriken SKF, 2019, Grupo SKF 2019.

Grafica K2

Diagrama de la temperatura de viscosidad según los grados de viscosidad de la ISO.



Nota: Adaptado de *Rodamientos* (p. 100) por Svenska Kullagerfabriken SKF, 2019, Grupo SKF 2019.

Para obtener dichos valores, se realizó mediante un proceso de interpolación. Asimismo, se realizó el cálculo del valor de P por medio de las siguientes ecuaciones

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow P = F_r$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e \rightarrow P = X * F_r + Y * F_a$$

Una vez se obtuvieron estos valores, se procedió a calcular la vida nominal del rodamiento utilizando esta ecuación:

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 * RPM} \right) * \left(\frac{C}{P} \right)^n$$

Luego, se procedió con el apartado de la condición de lubricación que tendrán los rodamientos y el cálculo del factor de contaminación. Para la condición de lubricación se utilizó la Tabla K5 y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$k = \frac{v}{v_1}$$

Tabla K5

Clasificación de la viscosidad según la norma ISO 3448.

Clasificación de la viscosidad según la norma ISO 3448			
Grado de viscosidad	Viscosidad cinemática límite a 40 °C (105 °F)		
	media	mín.	máx.
–	mm ² /s		
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

Nota: Adaptado de *Rodamientos* (p. 103) por Svenska Kullagerfabriken SKF, 2019, Grupo SKF 2019.

Donde v corresponde a la viscosidad real de funcionamiento del aceite o aceite base de la grasa y v_1 a la viscosidad nominal, en función del diámetro medio del rodamiento y la velocidad de giro.

Para el factor de contaminación η_c se utilizó la Tabla K6 y se estableció una condición de Gran limpieza para este caso.

Tabla K6

Valores orientativos para el factor η_c para distintos niveles de contaminación.

Valores orientativos para el factor η_c para distintos niveles de contaminación		
Condiciones	Factor $\eta_c^{1)}$ para rodamientos con diámetro	
	$d_m < 100$	$d_m \geq 100$ mm
Limpieza extrema <ul style="list-style-type: none"> Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante Condiciones de laboratorio 	1	1
Gran limpieza <ul style="list-style-type: none"> Aceite lubricante con filtración muy fina Condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida 	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal <ul style="list-style-type: none"> Aceite lubricante con filtración fina Condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida 	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Contaminación ligera <ul style="list-style-type: none"> Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste y leve ingreso de contaminantes 	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Contaminación típica <ul style="list-style-type: none"> Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste e ingreso de partículas desde el exterior 	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Contaminación severa <ul style="list-style-type: none"> Condiciones típicas: altos niveles de contaminación debido a desgaste excesivo o sellos ineficaces Disposición de los rodamientos con sellos ineficaces o dañados 	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Contaminación muy severa <ul style="list-style-type: none"> Condiciones típicas: niveles de contaminación tan severas que los valores de η_c están fuera de escala, lo que reduce significativamente la vida útil del rodamiento 	0	0

Nota: Adaptado de *Rodamientos* (p. 105) por Svenska Kullagerfabriken SKF, 2019, Grupo SKF 2019.

Después, se obtuvo el valor de a_{SKF} utilizando la Grafica K3 y para los valores de rodamientos tipo Explorer. Con este valor hallado, se procedió al cálculo de vida nominal SKF, el cual se realizó por medio de la siguiente ecuación:

$$L_{10mh} = a_{SKF} * L_{10h}$$

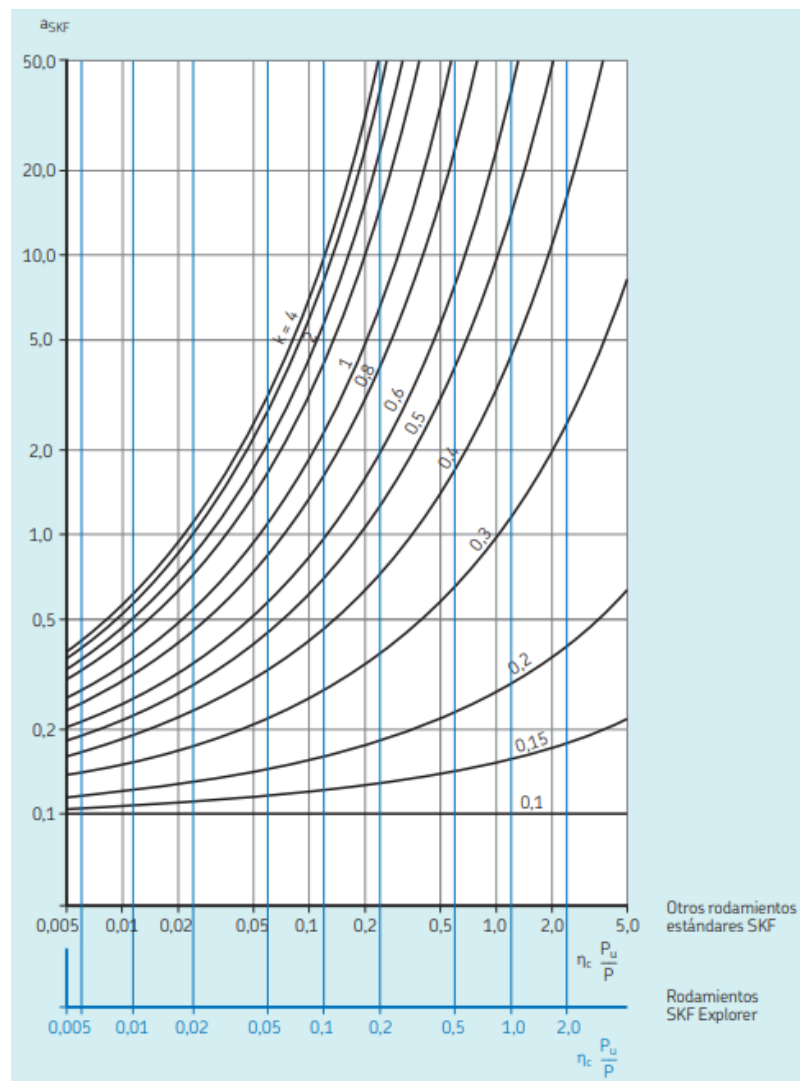
Además, se calculó la carga mínima F_{rm} a la cual el rodamiento debe estar trabajando.

Este factor es importante debido a que, si no se cumple este valor, el rodamiento tendrá a una falla prematura ocasionada por el patinaje o derrape.

$$F_{rm} = k_r * \left(\frac{v * RPM}{1000} \right)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{d_m}{100} \right)^2$$

Grafica K3

Factor a_{SKF} para los rodamientos radiales de bolas.



Nota: Adaptado de *Rodamientos* (p. 96) por Svenska Kullagerfabriken SKF, 2019, Grupo SKF 2019.

De esta manera, se presentan los resultados obtenidos para los 3 rodamientos en el punto B en la Tabla K7.

Tabla K7

Cálculo para los rodamientos en el punto B.

	W 6005-2Z	W 6205-2Z	W 6305-2Z
d_m [mm]	36	38,5	43,5
$v_1 \left[\frac{mm^2}{s} \right]$	32	30	28
Tipo lubricante	ISO VG 46		
$f_0 F_a / C_0$	0		
e	N/A		
X	N/A		
Y	N/A		
F_a / F_r	0		
P [kN]	0,259280		
L_{10h} [h]	866.699,67	2'100.737,33	7'297.316,05
$v \left[\frac{mm^2}{s} \right]$	46		
k	1,44	1,53	1,64
η_c	0,6		
$\eta_c P_u / P$	0,58	0,77	1,11
a_{SKF}	50		
L_{10mh}	43'334.950	105'036.850	364'865.800
F_{rm} [kN]	0,0404	0,0462	0,0541

Y repitiendo el mismo procedimiento, también se presentan los resultados obtenidos para los 3 rodamientos en el punto C en la Tabla K8.

Analizando los resultados obtenidos de Vida nominal SKF, tenemos que los 3 rodamientos funcionan y cumplen con el requerimiento de nuestro caso, pero no se consideró como un factor clave a la hora de elegir el rodamiento adecuado.

Finalmente, se concluye que el rodamiento que cumple con los requerimientos de nuestro caso corresponde al rodamiento W 6205-2Z, esto gracias al rendimiento que

proporciona en los factores claves, tales como k , L_{10h} y F_{rm} , los cuales indican que este rodamiento se encuentra en rangos adecuados sobre los otros dos rodamientos presentados.

Tabla K8

Cálculo para los rodamientos en el punto C.

	W 6005-2Z	W 6205-2Z	W 6305-2Z
d_m [mm]	36	38,5	43,5
$v_1 \left[\frac{mm^2}{s} \right]$	32	30	28
Tipo lubricante	ISO VG 46		
$f_0 F_a / C_0$	0,247	0,18	0,118
e	0,203	0,1914	0,18
X	0,56	0,56	0,56
Y	2,165	2,285	2,396
F_a / F_r	0,8		
P [kN]	0,2865	0,29855	0,3096
L_{10h} [h]	642.394,49	1'376.028,98	4'344.885,86
v [mm ² /s]	46		
k	1,44	1,53	1,64
η_c	0,6		
$\eta_c P_u / P$	0,52	0,67	0,93
a_{SKF}	50		
L_{10mh}	32'119.700	68'801.400	217'244.250
F_{rm} [kN]	0,0404	0,0462	0,0541