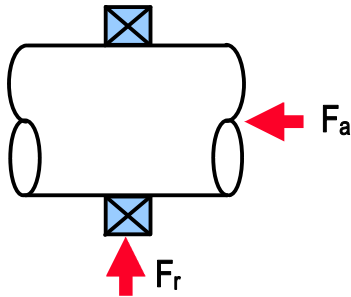




El elemento mecánico que presenta menos duración de una máquina es un rodamiento de bolas del tipo **6004**. Determinar como se conseguiría una mayor vida útil de la máquina: utilizando un aceite con el doble de viscosidad del empleado en la actualidad o colocando un rodamiento del tipo **6204**, conociendo que las condiciones actuales de la máquina son:



- $F_r = 1800 \text{ N}$ y $F_a = 600 \text{ N}$.
- $n = 2000 \text{ r.p.m.}$
- Viscosidad del aceite = $68 \text{ mm}^2/\text{s}$ (40°C).
- Temperatura operativa = 80°C .
- El ambiente está limpio ($\eta_c = 0.8$).
- La vida útil ajustada ampliada del rodamiento se estima para una fiabilidad del 95%.

$$P = F_r + 0.55 \cdot F_a \quad \text{cuando } \frac{F_a}{F_r} \leq 1.14$$

$$P = 0.57 \cdot F_r + 0.93 \cdot F_a \quad \text{cuando } \frac{F_a}{F_r} > 1.14$$

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{SKF} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^3 \cdot 10^6 \text{ revoluciones}$$

FIABILIDAD	90%	95%	96%	97%	98%	99%
Factor de ajuste a_f	1	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

Dimensiones principales	Capacidad de carga		Carga límite de fatiga P_u	Velocidad nominal		Masa	Designación
	dinám.	estát.		Lubricación con grasa	aceite		
d D B	C	C_0	N	N	r/min	kg	-
mm	N		N		r/min	kg	-
15	24 5	1 560 800	34	28 000	34 000	0,0074	61802
	28 7	4 030 2 040	85	24 000	30 000	0,016	61902
	32 8	5 590 2 850	120	22 000	28 000	0,025	16002
	32 9	5 590 2 850	120	22 000	28 000	0,030	6002
	35 11	7 800 3 750	160	19 000	24 000	0,045	6202
	42 13	11 400 5 400	228	17 000	20 000	0,082	6302
17	26 5	1 680 930	39	24 000	30 000	0,0082	61803
	30 7	4 360 2 320	98	22 000	28 000	0,018	61903
	35 8	6 050 3 250	137	19 000	24 000	0,032	16003
	35 10	6 050 3 250	137	19 000	24 000	0,039	6003
	40 12	9 560 4 750	200	17 000	20 000	0,065	6203
	47 14	13 500 6 550	275	16 000	19 000	0,12	6303
	62 17	22 900 10 800	455	12 000	15 000	0,27	6403
20	32 7	2 700 1 500	63	19 000	24 000	0,018	61804
	37 9	6 370 3 650	156	18 000	22 000	0,038	61904
	42 8	6 890 4 050	173	17 000	20 000	0,050	16004
	42 12	9 360 5 000	212	17 000	20 000	0,069	6004
	47 14	12 700 6 550	280	15 000	18 000	0,11	6204
	52 15	15 900 7 800	335	13 000	16 000	0,14	6304
	72 19	30 700 15 000	640	10 000	13 000	0,40	6404
25	37 7	4 360 2 600	125	17 000	20 000	0,022	61805
	42 9	6 630 4 000	176	16 000	19 000	0,045	61905
	47 8	7 610 4 750	212	14 000	17 000	0,060	16005
	47 12	11 200 6 550	275	15 000	18 000	0,080	6005
	52 15	14 000 7 800	335	12 000	15 000	0,13	6205
	62 17	22 500 11 600	490	11 000	14 000	0,23	6305
	80 21	35 800 19 300	815	9 000	11 000	0,53	6405
30	42 7	4 490 2 900	146	15 000	18 000	0,027	61806
	47 9	7 280 4 550	212	14 000	17 000	0,051	61906
	55 9	11 200 7 350	310	12 000	15 000	0,085	16006
	55 13	13 300 8 300	355	12 000	15 000	0,12	6006
	62 16	19 500 11 200	475	10 000	13 000	0,20	6206
	72 19	28 100 16 000	670	9 000	11 000	0,35	6306
	90 23	43 600 23 600	1 000	8 500	10 000	0,74	6406

SOLUCIÓN

Aunque la mayoría de los parámetros son iguales, para solucionar el problema se plantean 2 casos:

- Caso A- Rodamiento del tipo **6004** con viscosidad del aceite = $136 \text{ mm}^2/\text{s}$.
- Caso B- Rodamiento del tipo **6204** con viscosidad del aceite = $68 \text{ mm}^2/\text{s}$.

La carga dinámica equivalente es igual en los dos casos:

$$\left. \begin{array}{l} P = F_r + 0.55 \cdot F_a \quad \text{cuando } \frac{F_a}{F_r} \leq 1.14 \\ P = 0.57 \cdot F_r + 0.93 \cdot F_a \quad \text{cuando } \frac{F_a}{F_r} > 1.14 \end{array} \right\} \frac{600}{1800} \leq 1.14 \Rightarrow P = 1800 + 0.55 \cdot 600 = 2130 \text{ N.}$$

Caso A. Rodamiento del tipo **6004**, con viscosidad del aceite = $136 \text{ mm}^2/\text{s}$.

(En la tabla y los diagramas, son los recuadros, rectas o curvas en color azul).

Lo primero es, con los datos de la tabla del catálogo ($d_A = 20 \text{ mm}$ y $D_A = 42 \text{ mm}$) estimar el diámetro medio:

$$d_{mA} = \frac{d_A + D_A}{2} = \frac{20 + 42}{2} = 31 \text{ mm.}$$

Con el diámetro medio y la velocidad de giro (2000 r.p.m.) se determina, en el diagrama, la viscosidad adecuada para una buena lubricación ν_1 , resultando:

$$\nu_{1A} = 20 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}.$$

Conocida la viscosidad del aceite ($136 \text{ mm}^2/\text{s}$) que se le proporciona a la máquina y la temperatura de funcionamiento (80° C) se determina, en el diagrama, la viscosidad operativa del citado aceite ν , resultando:

$$\nu_A = 22 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}.$$

Luego la relación de viscosidades será:

$$\kappa_A = \frac{\nu_A}{\nu_{1A}} = \frac{22}{20} = 1.1.$$

Sabida la carga límite a fatiga del rodamiento (del catálogo, $P_{uA} = 212 \text{ N}$), la carga dinámica equivalente ($P = 2130 \text{ N}$) y que el ambiente está limpio ($\eta_c = 0.8$), se determina el otro término necesario para determinar el coeficiente operativo de vida útil, en este caso a_{SKF} .

$$\eta_u \cdot \frac{P_{uA}}{P} = 0.8 \cdot \frac{212}{2130} \approx 0.08$$

Del correspondiente diagrama, se obtiene que $a_{SKF_A} = 2$.

Aplicando la fórmula de estimación de la vida útil ajustada ampliada, para una fiabilidad del 95 % ($a_1 = 0.62$) y tomando la capacidad dinámica de carga de la tabla del catálogo ($C_A = 9360 \text{ N}$), da como resultado:

$$L_{na_A} = a_1 \cdot a_{SKF_A} \cdot \left(\frac{C_A}{P}\right)^3 \cdot 10^6 = 0.62 \cdot 2 \cdot \left(\frac{9360}{2130}\right)^3 \cdot 10^6 \approx 105.223 \cdot 10^6 \text{ revoluciones}$$

Si se pasa a horas, para una velocidad de giro de 2000 r.p.m., será:

$$L_{na_A} = \frac{105.223 \cdot 10^6 \text{ revoluciones}}{60 \cdot 2000} \approx 877 \text{ horas}$$

Caso B. Rodamiento del tipo **6204**, con viscosidad del aceite = $68 \text{ mm}^2/\text{s}$.

(En la tabla y los diagramas, son los recuadros, rectas o curvas en color rojo).

Como antes, con los datos del catálogo ($d_B = 20 \text{ mm}$ y $D_B = 47 \text{ mm}$) se calcula el diámetro medio:

$$d_{mB} = \frac{d_B + D_B}{2} = \frac{20 + 47}{2} = 33.5 \text{ mm.}$$

y con la velocidad de giro (2000 r.p.m.) se determina, en el diagrama, la viscosidad adecuada para este caso:

$$\nu_{1B} = 19 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}.$$

Después, con la viscosidad del aceite ($68 \text{ mm}^2/\text{s}$) de la máquina y la temperatura de funcionamiento (80° C), se haya en el diagrama la viscosidad operativa $\nu_B = 13 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$.

$$\text{Y la relación de viscosidades será } \kappa_B = \frac{\nu_B}{\nu_{1B}} = \frac{13}{19} = 0.68.$$

Se calcula el otro término para determinar el coeficiente operativo de vida útil (del catálogo, $P_{uB} = 280 \text{ N}$).

$$\eta_c \cdot \frac{P_{uB}}{P} = 0.8 \cdot \frac{280}{2130} \approx 0.105$$

Del correspondiente diagrama, se obtiene que $a_{SKF_A} = 1$.

Y se estima que, en este caso (con una capacidad dinámica de carga, $C_B = 12700$, la vida útil ajustada ampliada, con fiabilidad del 95 %, resulta:

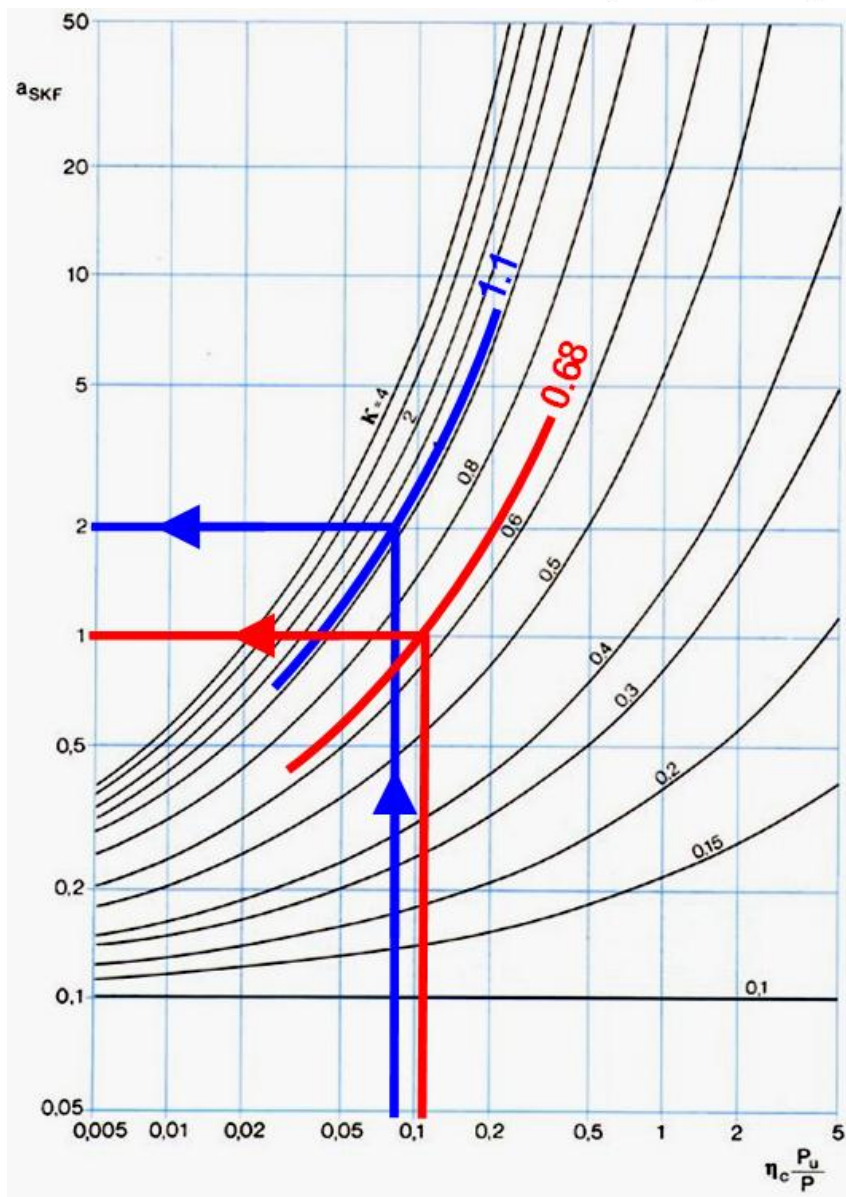
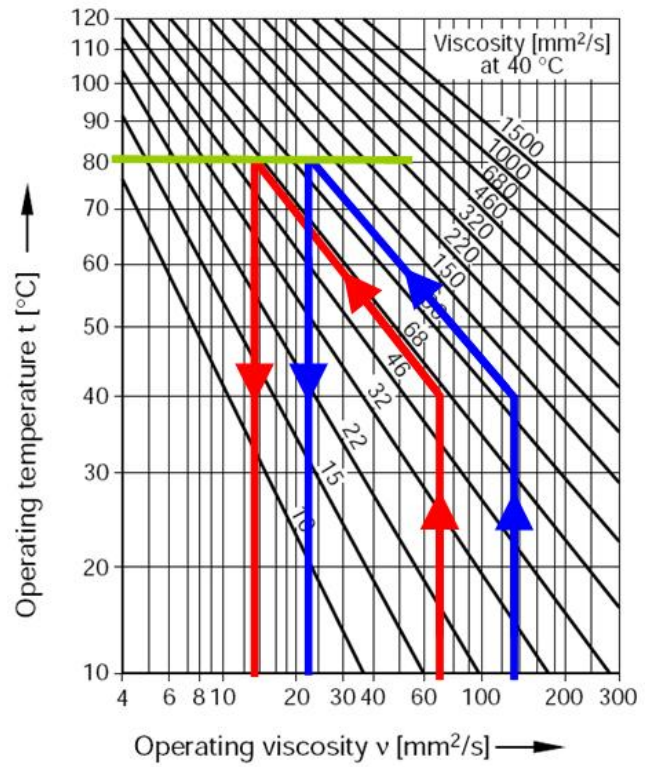
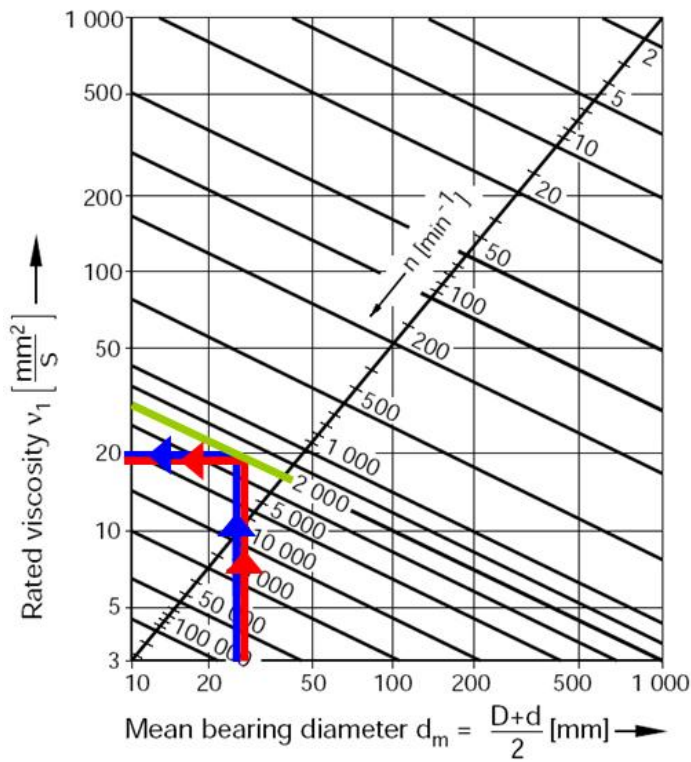
$$L_{na_B} = a_1 \cdot a_{SKF_B} \cdot \left(\frac{C_B}{P}\right)^3 \cdot 10^6 = 0.62 \cdot 1 \cdot \left(\frac{12700}{2130}\right)^3 \cdot 10^6 \approx 131.420 \cdot 10^6 \text{ revoluciones}$$

Que en horas, para una velocidad de giro igual a 2000 r.p.m., será:

$$L_{na_B} = \frac{131.420 \cdot 10^6 \text{ revoluciones}}{60 \cdot 2000} \approx 1095 \text{ horas}$$

En conclusión, **se prefiere la opción B** (rodamiento del tipo **6204**, con viscosidad del aceite = $68 \text{ mm}^2/\text{s}$) pues se estima que la vida útil es superior al caso A en aproximadamente un 25 %

$$\frac{L_{na_B}}{L_{na_A}} \approx 1.25$$





DISEÑO MECÁNICO (Ingeniería Industrial, 4º curso)
EXAMEN: 5 de SEPTIEMBRE de 2007

Un rodamiento de bolas de contacto angular, modelo **7210 BE**, se lubrica con un aceite de tipo ISO 32, de viscosidad igual a 32 mm²/s (40°C) y trabaja a tres regímenes:

- A →** $n_A = 500$ r.p.m.; $F_{rA} = 12$ kN.; $F_{aA} = 14.5$ kN. y temperatura operativa de 48° C. En este régimen opera el 60 % del tiempo ($q_A = 0.6$).
- B →** $n_B = 1000$ r.p.m.; $F_{rB} = 8$ kN.; $F_{aB} = 4$ kN. y temperatura operativa de 90° C. En este régimen opera el 20 % del tiempo ($q_B = 0.2$).
- C →** $n_C = 2000$ r.p.m.; $F_{rC} = 3$ kN.; $F_{aC} = 1$ kN. y temperatura operativa de 75° C. En este régimen opera el 20 % del tiempo ($q_C = 0.2$).

Conociendo que el ambiente está limpio ($\eta_c = 0.8$), determinar la vida útil ajustada ampliada del rodamiento, en revoluciones y en horas, para una fiabilidad del 90%.

Proponer soluciones para, con las condiciones operativas actuales y sin modificar la viscosidad del lubricante, aumentar la vida útil del rodamiento.

FIABILIDAD	90%	95%	96%	97%	98%	99%
Factor de ajuste a_F	1	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

$$P = F_r + 0.55 \cdot F_a \quad \text{cuando } \frac{F_a}{F_r} \leq 1.14$$

$$P = 0.57 \cdot F_r + 0.93 \cdot F_a \quad \text{cuando } \frac{F_a}{F_r} > 1.14$$

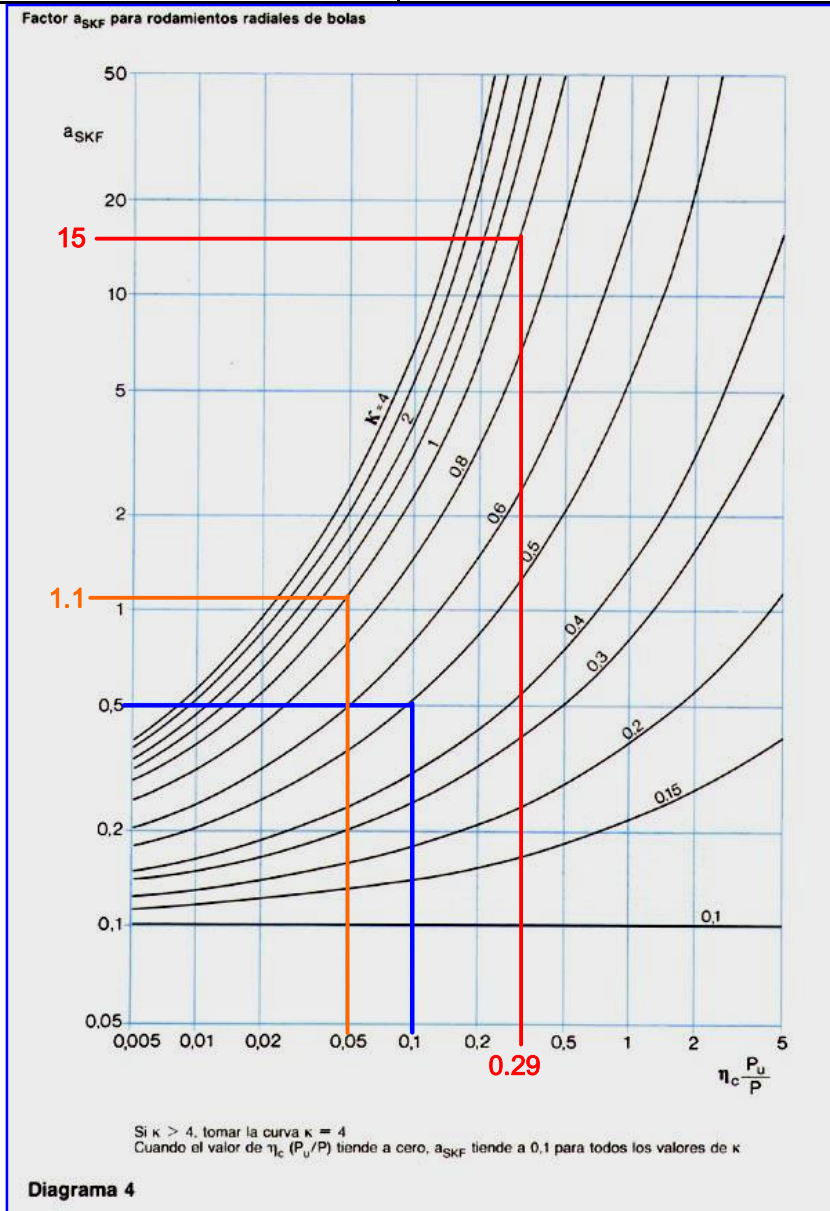
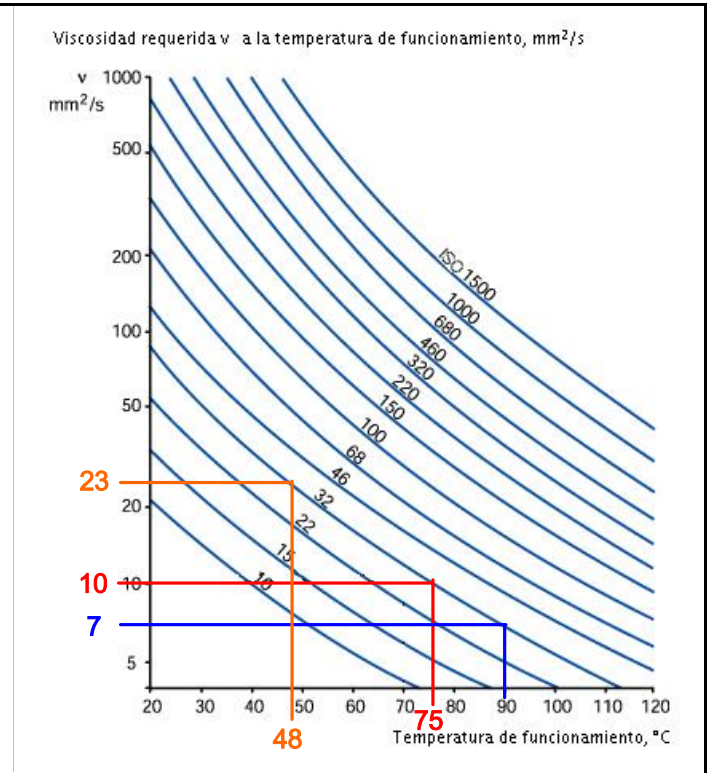
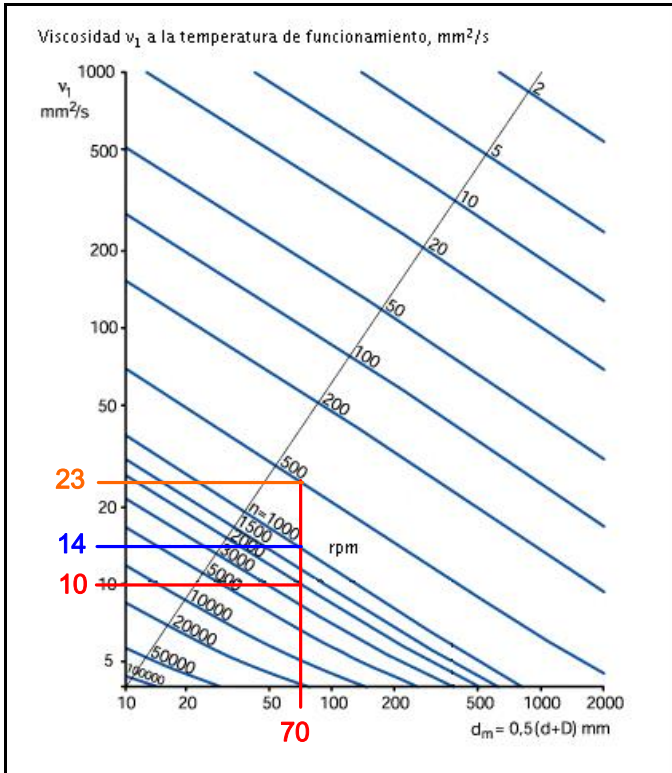
$$P = \sqrt[3]{\frac{\sum \left(\frac{1}{a_K} \cdot q_K \cdot n_K \cdot P_K^3 \right)}{\sum (q_K \cdot n_K)}}$$

$$L_{na} = \left(\frac{C}{P} \right)^3 \cdot 10^6 \text{ revoluciones}$$

$$n_m = \sum (q_K \cdot n_K)$$

$$a_K = a_{FK} \cdot a_{SKFK}$$

Dimensiones principales			Capacidad de carga		Carga límite de fatiga P_u	Velocidad nominal		Masa	Designación
d	D	B	dinám. C	estát. C_0		Lubricación con grasa	aceite		
mm			N		N	r/min		kg	-
10	30	9	7 020	3 350	140	19 000	28 000	0,030	7200 BE
12	32	10	7 610	3 800	160	18 000	26 000	0,036	7201 BE
	37	12	10 600	5 000	208	17 000	24 000	0,060	7301 BE
15	35	11	8 840	4 800	204	17 000	24 000	0,045	7202 BE
	42	13	13 000	6 700	280	15 000	20 000	0,080	7302 BE
17	40	12	11 100	6 100	260	15 000	20 000	0,065	7203 BE
	47	14	15 900	8 300	355	13 000	18 000	0,11	7303 BE
20	47	14	14 000	8 300	355	12 000	17 000	0,11	7204 BE
	52	15	19 000	10 400	440	11 000	16 000	0,14	7304 BE
25	52	15	15 600	10 200	430	10 000	15 000	0,13	7205 BE
	62	17	26 000	15 600	655	9 000	13 000	0,23	7305 BE
30	62	16	23 800	15 600	655	8 500	12 000	0,20	7206 BE
	72	19	34 500	21 200	900	8 000	11 000	0,34	7306 BE
35	72	17	30 700	20 800	880	8 000	11 000	0,28	7207 BE
	80	21	39 000	24 500	1 040	7 500	10 000	0,45	7307 BE
40	80	18	36 400	26 000	1 100	7 000	9 500	0,37	7208 BE
	90	23	49 400	33 500	1 400	6 700	9 000	0,63	7308 BE
45	85	19	37 700	28 000	1 200	6 700	9 000	0,42	7209 BE
	100	25	60 500	41 500	1 730	6 000	8 000	0,85	7309 BE
50	90	20	39 000	30 500	1 290	6 000	8 000	0,47	7210 BE
	110	27	74 100	51 000	2 200	5 300	7 000	1,10	7310 BE



SOLUCIÓN

Se utilizará un rodamiento del tipo **7210 BE**, con viscosidad del aceite = 32 mm²/s.

La carga dinámica equivalente es diferente en los tres regímenes:

$$\left. \begin{array}{l} P = F_r + 0.55 \cdot F_a \\ P = 0.57 \cdot F_r + 0.93 \cdot F_a \end{array} \right\} \begin{array}{l} \frac{F_a}{F_r} \leq 1.14 \\ \frac{F_a}{F_r} > 1.14 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \frac{14500}{12000} > 1.14 \Rightarrow P_A = 0.57 \cdot 12000 + 0.93 \cdot 14500 = 20325 \text{ N.} \\ \frac{4000}{8000} \leq 1.14 \Rightarrow P_B = 8000 + 0.55 \cdot 4000 = 10200 \text{ N.} \\ \frac{1000}{3000} \leq 1.14 \Rightarrow P_C = 3000 + 0.55 \cdot 1000 = 3550 \text{ N.} \end{array} \right.$$

Con los datos de la tabla del catálogo (**d** = 50 mm y **D** = 90 mm) se estima el diámetro medio:

$$d_m = \frac{d + D}{2} = \frac{50 + 90}{2} = 70 \text{ mm.}$$

- A** Con el diámetro medio y la velocidad de giro (500 r.p.m.) se determina, en el diagrama, la viscosidad adecuada para una buena lubricación ν_1 , resultando:

$$\nu_{1A} = 23 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

Conocida la viscosidad del aceite (32 mm²/s) que se le proporciona a la máquina y la temperatura de funcionamiento (48° C) se determina, en el diagrama, la viscosidad operativa del citado aceite ν , resultando:

$$\nu_A = 23 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

Luego la relación de viscosidades será: $\kappa_A = \frac{\nu_A}{\nu_{1A}} = \frac{23}{23} = 1$

Conocida la carga límite de fatiga del rodamiento (del catálogo, $P_u = 1290$ N), la carga dinámica equivalente para este régimen ($P_A = 20325$ N) y que el ambiente está limpio ($\eta_c = 0.8$), se determina el otro término necesario para determinar el coeficiente operativo de vida útil, en este caso a_{SKF} . (En los diagramas, son las líneas en color naranja).

$$\eta_c \cdot \frac{P_u}{P_A} = 0.8 \cdot \frac{1290}{20325} \approx 0.05$$

Del correspondiente diagrama, se obtiene que $a_{SKF_A} = 1.1$

- B** Al igual que antes, con el diámetro medio y la velocidad de giro (1000 r.p.m.) se calcula la viscosidad ν_1 , resultando:

$$\nu_{1B} = 14 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

Con la viscosidad del aceite (32 mm²/s) y la temperatura operativa (90° C) se determina la viscosidad ν , resultando:

$$\nu_B = 7 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

Siendo la relación de viscosidades: $\kappa_B = \frac{\nu_B}{\nu_{1B}} = \frac{7}{14} = 0.5$

Conocida la carga límite de fatiga del rodamiento ($P_u = 1290$ N), la carga dinámica equivalente ($P_B = 10200$ N) y que el ambiente está limpio ($\eta_c = 0.8$), se opera:

$$\eta_c \cdot \frac{P_u}{P_B} = 0.8 \cdot \frac{1290}{10200} \approx 0.1$$

Del correspondiente diagrama (líneas en color azul), se obtiene que $a_{SKF_B} = 0.5$.

- C Al igual anteriormente, con el diámetro medio y la velocidad de giro (2000 r.p.m.) se calcula la viscosidad ν_{1C} , resultando:

$$\nu_{1C} = 10 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

Con la viscosidad del aceite (32 mm²/s) y la temperatura operativa (90° C) se determina la viscosidad ν , resultando:

$$\nu_C = 10 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

Siendo la relación de viscosidades: $\kappa_C = \frac{\nu_C}{\nu_{1C}} = \frac{10}{10} = 1$

Conocida la carga límite de fatiga del rodamiento ($P_u = 1290$ N), la carga dinámica equivalente ($P_B = 3550$ N) y que el ambiente está limpio ($\eta_c = 0.8$), se opera:

$$\eta_c \cdot \frac{P_u}{P_C} = 0.8 \cdot \frac{1290}{3550} \approx 0.29$$

Del correspondiente diagrama (líneas en color rojo) se obtiene que $a_{SKF_C} = 15$.

Aplicando la fórmula de estimación de la vida útil y sustituyendo con la ecuación de la carga dinámica equivalente, para el caso de varios regímenes operativos, se obtiene:

$$L_{na} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \cdot 10^6 = \frac{C^3}{\sqrt[3]{\frac{\sum \left(\frac{1}{a_K} \cdot q_K \cdot n_K \cdot P_K^3\right)}{\sum (q_K \cdot n_K)}}}} \cdot 10^6 = \frac{C^3 \cdot \sum (q_K \cdot n_K)}{\sum \left(\frac{1}{a_{F_K} \cdot a_{SKF_K}} \cdot q_K \cdot n_K \cdot P_K^3\right)} \cdot 10^6 \text{ rev.}$$

Particularizando para el caso de tres regímenes operativos:

$$L_{na} = \frac{C^3 \cdot (q_A \cdot n_A + q_B \cdot n_B + q_C \cdot n_C)}{\left(\frac{1}{a_{F_A} \cdot a_{SKF_A}} \cdot q_A \cdot n_A \cdot P_A^3\right) + \left(\frac{1}{a_{F_B} \cdot a_{SKF_B}} \cdot q_B \cdot n_B \cdot P_B^3\right) + \left(\frac{1}{a_{F_C} \cdot a_{SKF_C}} \cdot q_C \cdot n_C \cdot P_C^3\right)} \cdot 10^6 \text{ rev.}$$

Conocida la capacidad dinámica de carga (del catálogo, $C = 39000$ N) y sustituyendo el resto de parámetros por los valores determinados anteriormente, se calcula la vida útil ajustada ampliada, en revoluciones, con fiabilidad del 90 % ($a_F = 1$):

$$L_{na} = \frac{39000^3 \cdot (0.6 \cdot 500 + 0.2 \cdot 1000 + 0.2 \cdot 2000)}{\left(\frac{1}{1 \cdot 1.1} \cdot 0.6 \cdot 500 \cdot 20325^3\right) + \left(\frac{1}{1 \cdot 0.5} \cdot 0.2 \cdot 1000 \cdot 10200^3\right) + \left(\frac{1}{1 \cdot 15} \cdot 0.2 \cdot 2000 \cdot 3550^3\right)} \cdot 10^6 \text{ rev.}$$

$$L_{na} = \frac{5.34 \cdot 10^{16}}{2.72 \cdot 10^{15}} \cdot 10^6 = 19.63 \cdot 10^6 \text{ rev.}$$

La velocidad de giro media de la máquina será:

$$n_m = \sum q_K \cdot n_K = q_A \cdot n_A + q_B \cdot n_B + q_C \cdot n_C = 0.6 \cdot 500 + 0.2 \cdot 1000 + 0.2 \cdot 2000 = 900 \text{ r.p.m.}$$

Por ello, en una hora de proceso dará un total de:

$$1 \text{ hora} = 60 \text{ minutos} = 60 \cdot n_m = 60 \cdot 900 = 54000 \text{ rev.}$$

Siendo la vida útil ajustada ampliada, en horas, con una fiabilidad del 90 %, igual a:

$$L_{na} = \frac{19.63 \cdot 10^6}{54000} = 363.5 \text{ horas}$$



Nombre y Apellidos:..... Fecha:.....

PROBLEMA (5 puntos)

Una máquina de extracción de agua está accionada por una transmisión por correa plana (ver figura 1), con una relación de transmisión de 3/7.

- La polea conducida tiene un diámetro de \varnothing 280 mm.
- La distancia entre el eje de la polea conducida y la polea pequeña es de 400 mm.
- La polea pequeña va acoplada a un motor que gira a 1200 r.p.m., en sentido antihorario.

- ⇒ Determinar la longitud de la correa. (0,5 puntos)
- ⇒ Analizar y calcular las tensiones a lo largo de la correa plana de la figura, indicando el valor máximo y su situación. (0,5 puntos)
- ⇒ Dibujar el diagrama *TENSIÓN – LONGITUD* de la correa, a escala. (1 punto)

Nota: Se sugiere la escala → Ordenadas: 1 MPa : 4□ y Abscisas: 50 mm : 1□.

Se recuerda que los arcos abrazados por las correas no son de 180° y que la tensión máxima de flexión no es igual en las dos poleas.

Considerar que el ángulo $\beta \approx \frac{r_2 - r_1}{a}$ y la distancia $d = a \left(1 - \frac{\beta^2}{2} \right)$

Datos:

- Par resistente en la polea conducida = 35 Nm.
- Sección de la correa = 25 mm. x 5 mm.
- Tensión inicial = 200 N.
- Tensión máxima de flexión en el punto K = 1,4 MPa.
- Tensión por fuerza centrífuga en el punto K = 0,5 MPa.

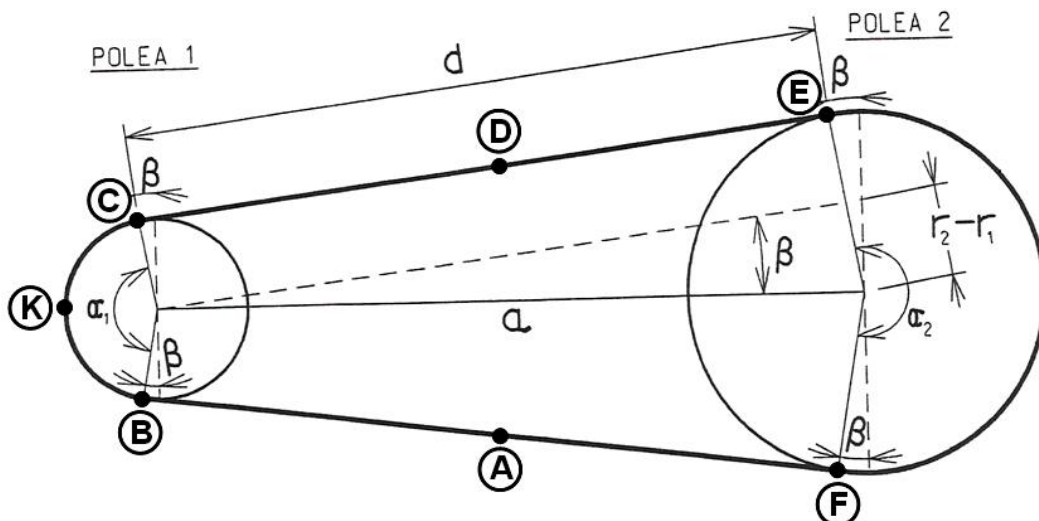


Figura 1. Sistema de transmisión por correa plana.

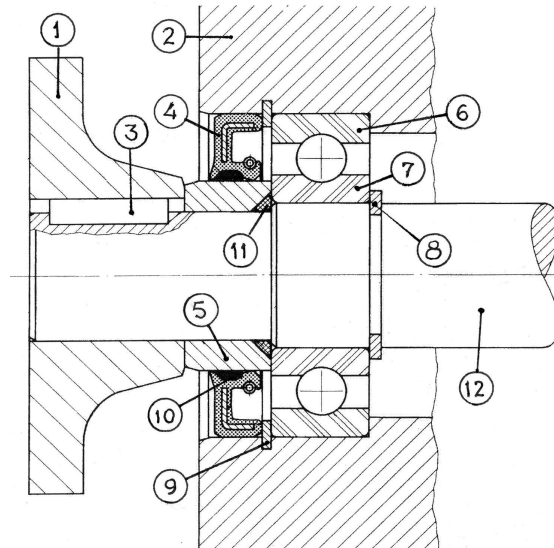


Figura 2. Buje de la polea 2 del sistema mecánico de la figura 1

El sistema mecánico de la figura 2 es un detalle del buje de la polea 2, donde la polea 2 se corresponde con la marca 1.

El rodamiento de bolas es el modelo **SKF 6008** y está fabricado con tolerancias de calidad IT6 (según norma ISO) y tipo H para el agujero de anillo interior (marca 7) y tipo h para el radio externo del anillo exterior (marca 6).

- ⇒ Si la tolerancia del alojamiento (marca 2) del rodamiento es $\text{Ø}68\text{J}7$, establecer que tipo de ajuste se produce y especificar el juego o aprieto máximo y mínimo. **(0,75 puntos)**
- ⇒ Si el montaje del rodamiento en el árbol (marca 12) se efectúa con un aprieto mínimo de $18 \mu\text{m}$ y un aprieto máximo de $45 \mu\text{m}$ (tolerancias de aprieto), determinar la tolerancia normalizada ISO con la cual está fabricado el árbol. **(0,75 puntos)**

M (mm)	CALIDADES DE LA TOLERANCIA																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
≤3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3 a 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6 a 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
10 a 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
18 a 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
30 a 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
50 a 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
80 a 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120 a 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
180 a 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
250 a 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
315 a 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
400 a 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

El rodamiento **SKF 6008** de la figura 2 está montado con juego normal y se lubrica con un aceite de tipo ISO 68, de viscosidad igual a $68 \text{ mm}^2/\text{s}$ (40°C).

Suponer que trabaja bajo una carga de radial $F_r = 3,5 \text{ kN}$. y una carga axial $F_a = 1,6 \text{ kN}$., la temperatura operativa de funcionamiento son 70°C y el ambiente está limpio ($\eta_c = 0,8$).

- ⇒ Determinar la vida nominal ajustada ampliada del rodamiento, en horas, para una fiabilidad del 95 %. **(1,2 puntos)**
- ⇒ Proponer varias soluciones detalladamente para, sin modificar las condiciones de carga y la viscosidad del lubricante, aumentar la vida útil del rodamiento. **(0,3 puntos)**

Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades		Masa	Designación	
d	D	B	dinámica	estática		Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			C	C_0	kN	kN	rpm	kg	-	
28	68	18	25,1	13,7	0,585		22000	14000	0,29	63/28
30	42	7	4,49	2,9	0,146		32000	20000	0,027	61806
30	47	9	7,28	4,55	0,212		30000	19000	0,051	61906
30	55	9	11,9	7,35	0,31		28000	17000	0,085	16006 *
30	55	13	13,8	8,3	0,355		28000	17000	0,12	6006 *
30	62	16	20,3	11,2	0,475		24000	15000	0,2	6206 *
30	62	16	23,4	12,9	0,54		24000	15000	0,19	6206 ETN9
30	72	19	29,6	16	0,67		20000	13000	0,35	6306 *
30	72	19	32,5	17,3	0,735		22000	14000	0,33	6306 ETN9
30	90	23	43,6	23,6	1		18000	11000	0,74	6406
35	47	7	4,75	3,2	0,166		28000	18000	0,03	61807
35	55	10	9,56	6,8	0,29		26000	16000	0,08	61907
35	62	9	13	8,15	0,375		24000	15000	0,11	16007 *
35	62	14	16,8	10,2	0,44		24000	15000	0,16	6007 *
35	72	17	27	15,3	0,655		20000	13000	0,29	6207 *
35	72	17	31,2	17,6	0,75		20000	13000	0,27	6207 ETN9
35	80	21	35,1	19	0,815		19000	12000	0,46	6307 *
35	100	25	55,3	31	1,29		16000	10000	0,95	6407
40	52	7	4,94	3,45	0,186		26000	16000	0,034	61808
40	62	12	13,8	10	0,425		24000	14000	0,12	61908
40	68	9	13,8	9,15	0,44		22000	14000	0,13	16008 *
40	68	15	17,8	11,6	0,49		22000	14000	0,19	6008 *
40	80	18	32,5	19	0,8		18000	11000	0,37	6208 *
40	80	18	35,8	20,8	0,88		18000	11000	0,34	6208 ETN9
40	90	23	42,3	24	1,02		17000	11000	0,63	6308 *

Tabla 1. Valores del factor de ajuste de vida útil por fiabilidad.

FIABILIDAD	90%	95%	96%	97%	98%	99%
Factor de ajuste a_f	1	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

Estimación de la vida nominal de un rodamiento, al 90 % : $L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \cdot 10^6$ revoluciones

Factor de ajuste para estimar la vida nominal ajustada ampliada de un rodamiento: $a = a_f \cdot a_{SKF}$

El fabricante de rodamientos SKF calcula la carga dinámica equivalente de sus rodamientos atendiendo a la tabla 2 y según la condición:

$$P = F_r \quad \text{cuando } F_a/F_r \leq e$$

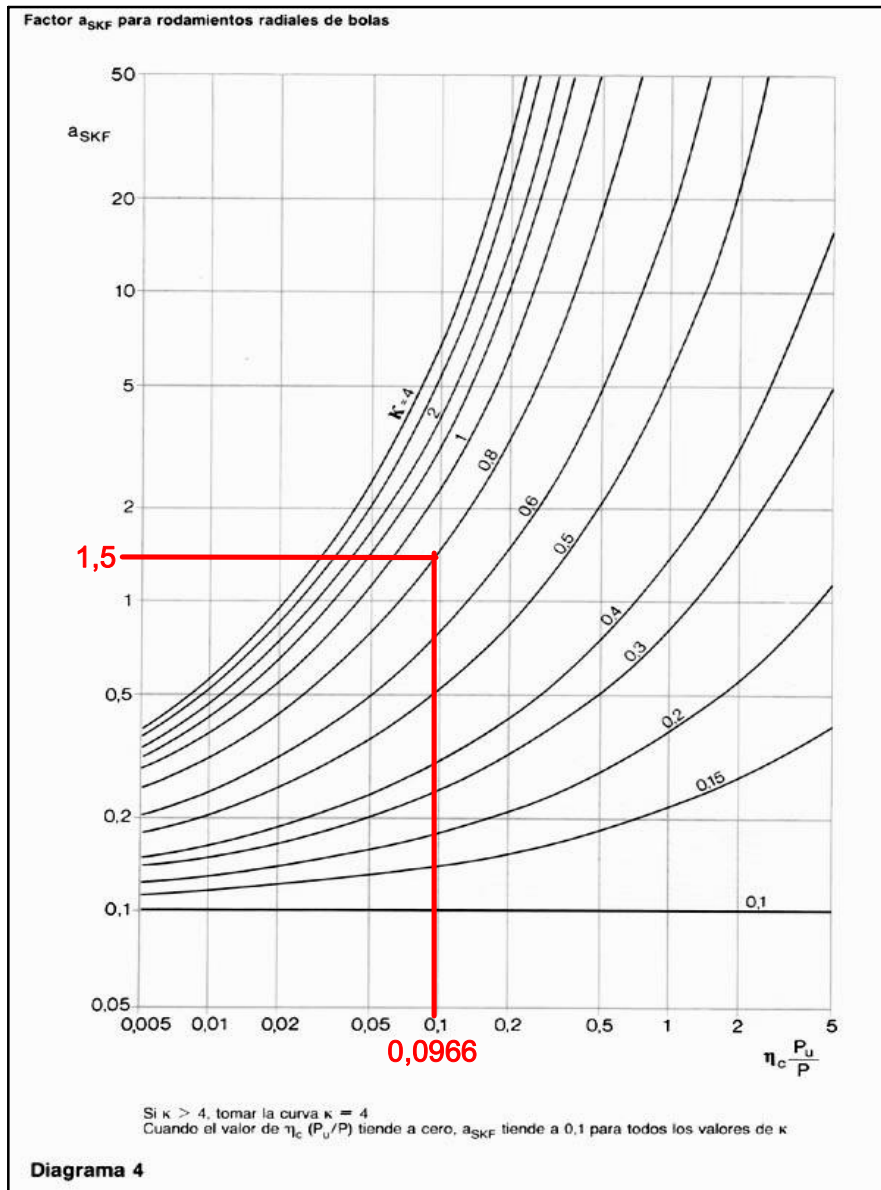
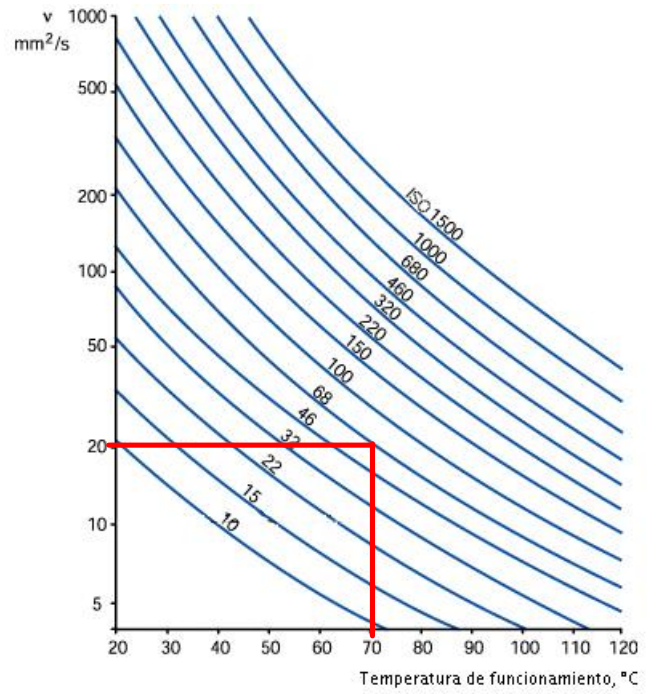
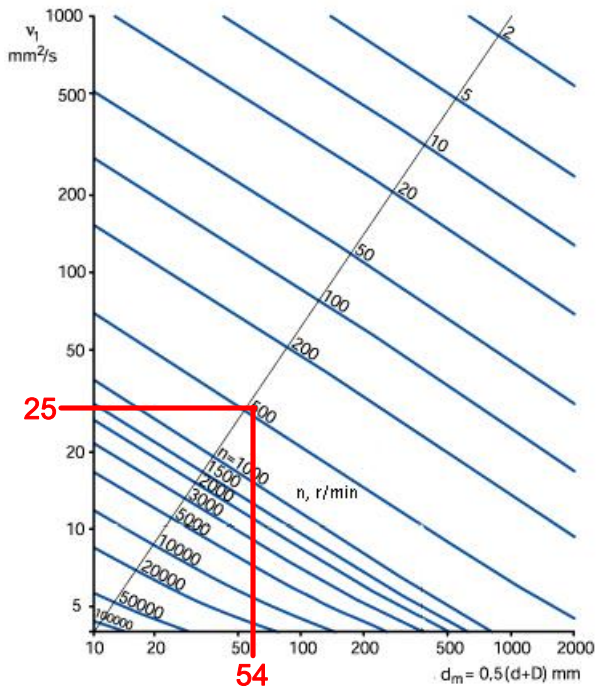
$$P = X F_r + Y F_a \quad \text{cuando } F_a/F_r > e$$

Los rodamientos de tipo 6008 tienen un factor de cálculo $f_0 = 15$.

Tabla 2. Factores de cálculo de la carga dinámica de rodamientos de bolas.

$f_0 F_a / C_0$	Juego Normal			Juego C3			Juego C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,30	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	0,40	0,44	1,40
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,30
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,30	0,56	1,45	0,40	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,50	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,10	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1,00
6,89	0,44	0,56	1,00	0,54	0,46	1,00	0,56	0,44	1,00

Los valores intermedios se obtienen por interpolación lineal



SOLUCIÓN

Se utilizará un rodamiento del tipo **6008**, con **viscosidad del aceite = 68 mm²/s**.

Al ser factor de cálculo **f₀ = 15** y obtener de la tabla del catálogo, **C₀ = 11,6 kN**.

Para determinar la carga dinámica equivalente se efectúa el cálculo $f_0 \frac{F_a}{C_0} = 15 \frac{1600}{11600} = 2,069$

Luego, para un Juego Normal, se obtiene de la Tabla 2 → e = 0,34; X = 0,56; Y = 1,31;

Y la carga dinámica equivalente será:

$$\left. \begin{array}{l} P = F_r \quad \frac{F_a}{F_r} \leq 0,34 \\ P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad \frac{F_a}{F_r} > 0,34 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} P = F_r \quad \frac{F_a}{F_r} \leq 0,34 \\ P = 0,56 \cdot F_r + 1,31 \cdot F_a \quad \frac{F_a}{F_r} > 0,34 \end{array} \right\}$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{1600}{3500} = 0,457 > 0,34 \Rightarrow P = 0,56 \cdot 3500 + 1,31 \cdot 1600 = 4056 \text{ N.}$$

Con los datos de la tabla del catálogo (d = 40 mm y D = 68 mm) se estima el diámetro medio:

$$d_m = \frac{d+D}{2} = \frac{40+68}{2} = 54 \text{ mm.}$$

Con el diámetro medio y la velocidad de giro (n=3/7·1200= 514 r.p.m.) se determina, en el diagrama, la viscosidad adecuada para una buena lubricación ν_1 , resultando: $\nu_1 = 25 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$

La viscosidad del aceite utilizado es 68 mm²/s y la temperatura de funcionamiento (70° C). Se determina, en el diagrama, la viscosidad operativa del citado aceite ν , resultando: $\nu = 20 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$

Luego la relación de viscosidades será: $\kappa = \frac{\nu}{\nu_1} = \frac{20}{25} = 0,8$

Conocida la carga límite de fatiga del rodamiento (del catálogo, **P_u = 490 N**), la carga dinámica equivalente para este régimen (**P = 4112 N**) y que el ambiente está limpio ($\eta_c = 0.8$), se determina el otro término necesario para determinar el coeficiente operativo de vida útil, en este caso **a_{SKF}**:

$$\eta_c \cdot \frac{P_u}{P} = 0,8 \cdot \frac{490}{4056} = 0.0966$$

Del correspondiente diagrama, se obtiene que **a_{SKF} = 1,5**

Conocida la capacidad dinámica de carga (del catálogo, **C = 17800 N**) y aplicando la fórmula de estimación de la vida útil, se obtiene:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \cdot 10^6 = \left(\frac{17800}{4056}\right)^3 \cdot 10^6 = 84,521 \cdot 10^6 \text{ rev.}$$

a = a_F · a_{SKF} Y la vida nominal ajustada ampliada, con una fiabilidad del 95 %, será:

$$L_{NA} = a_F \cdot a_{SKF} \cdot L_{10} = 0,62 \cdot 1,5 \cdot 84,521 \cdot 10^6 = 78,605 \cdot 10^6 \text{ rev.}$$

Por ello, en una hora de proceso dará un total de:

$$1 \text{ hora} = 60 \text{ minutos} = 60 \cdot n_m = 60 \cdot 514 = 30840 \text{ rev.}$$

Siendo la vida útil ajustada ampliada, en horas, con una fiabilidad del 95 %, igual a:

$$L_{NA} = \frac{78,605 \cdot 10^6}{30840} = 2549 \text{ horas}$$