CÁTEDRA DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Selección de rodamientos

Tres ejercicios resueltos · desde el diagrama de cuerpo libre hasta la designación SKF

Mecatrónica **Petróleo** **Industrial**

Clases prácticas · magnitudes de los problemas planteadas con finalidad didáctica · edición octubre 2026

Qué vamos a resolver

Cada ejemplo es un proceso de diseño, no solamente una sustitución numérica.

01

Eje de polea

Reacciones y comparación de dos series SKF

02

Bomba con empuje

Radial + axial; coeficientes e, Y_1, Y_2

03

Reductor helicoidal

Dos planos y ciclo de carga variable

Supuestos docentes: las fuerzas, velocidades, objetivos de vida y condiciones de servicio fueron definidos para ejercitar el procedimiento.

Secuencia de cálculo

La capacidad de carga es una de varias verificaciones obligatorias.

01 Datos de servicio

02 DCL y reacciones

03 P y P_0

04 C requerida

05 Código SKF

06 Verificaciones

Un valor C suficiente NO garantiza por sí solo el funcionamiento: revisar juego interno, temperatura, contaminación, cargas mínimas, montaje y lubricación.

Herramientas matemáticas

Vida nominal básica ISO 281 — válida para una primera preselección por fatiga.

$$L_{10}h = 10^6 \cdot (C / P)^p / (60 \cdot n)$$

Vida nominal básica [h], confiabilidad estadística del 90 %

$$Creq = P \cdot (60 \cdot n \cdot H / 10^6)^{(1/p)}$$

Capacidad dinámica requerida para una meta H [h]

Símbolo	Significado
C	Capacidad dinámica básica de catálogo [kN]
P	Carga dinámica equivalente [kN]
n	Velocidad del eje [rpm]
p	3: bolas · 10/3: rodillos
C_0 / P_0	Índice estático s_0 (evaluar según caso)

Fuente técnica: SKF, Rolling Bearings (cat. 17000), capítulo “Size selection based on rating life”.

EJERCICIO 01

Eje de polea entre apoyos

Mecatrónica: calcular reacciones, dimensionar cada apoyo y verificar que el mismo diámetro de eje no implica el mismo rodamiento.

d = 30 mm

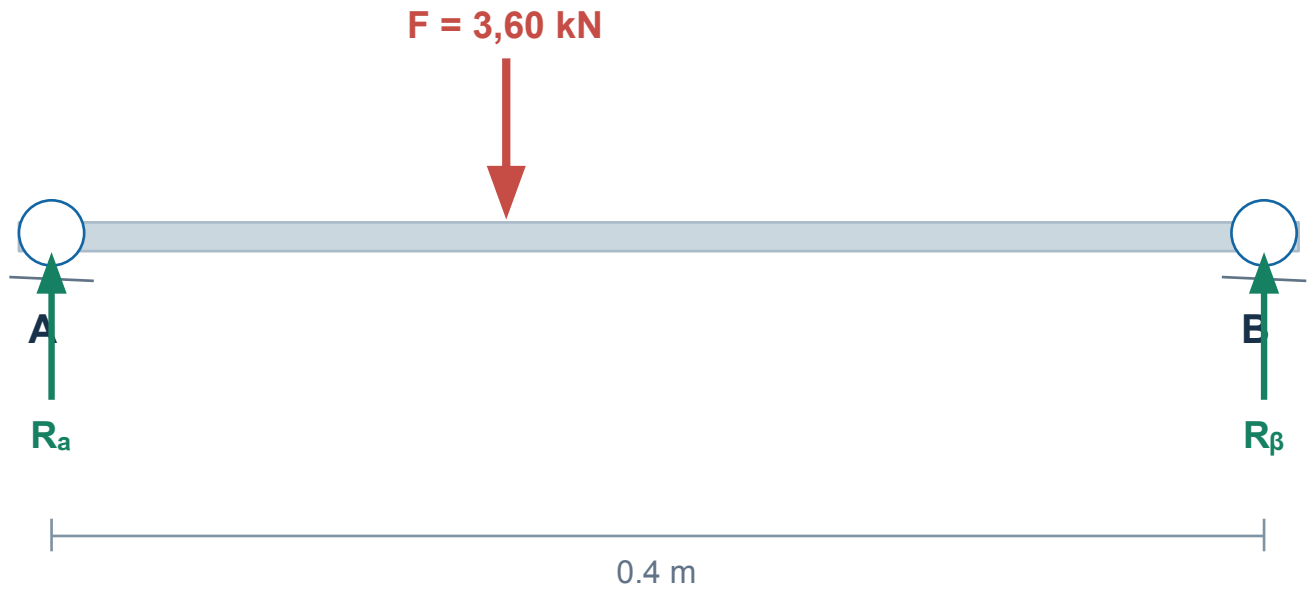
n = 1.500 rpm

H = 12.000 h

Modelo: carga estacionaria, radial, sin empuje axial significativo.

01 · Planteo y diagrama de cuerpo libre

Polea montada entre A y B. La carga radial es la resultante de las tensiones de la correa.



DATOS

- AB = 0,40 m
- AF = 0,15 m
- F = 3,60 kN ↓
- d del eje = 30 mm
- n = 1.500 rpm

Definir primero las fuerzas sobre el eje; no confundir F radial con el torque transmitido.

01 · Equilibrio: hallar R_a y R_β

Eje como viga isostática. Las reacciones se calculan antes de elegir el rodamiento.

$$\Sigma M_a = 0 \rightarrow R_\beta \cdot 0{,}40 = 3{,}60 \cdot 0{,}15$$

Momento de fuerzas respecto del apoyo A [kN·m]

$$R_\beta = 1{,}35\ \text{kN}\ \uparrow$$

El rodamiento B soporta la reacción menor

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow R_a = 3{,}60 - 1{,}35$$

Equilibrio vertical del eje

2,25 kN

F_r en el apoyo A

1,35 kN

F_r en el apoyo B

01 · Capacidad C requerida

Por ser cargas puramente radiales: $P = F_r$ en cada apoyo; $p = 3$ (bolas).

$C_{req,A} = 2{,}25 \cdot (1.080)^{(1/3)} = 23{,}09\ kN$

$1.080 = (60 \cdot 1.500 \cdot 12.000) / 10^6$

Apoyo	P [kN]	Creq [kN]	SKF candidato	C SKF [kN]	Resultado
A	2,25	23,09	6206-2Z	20,3	NO alcanza
A	2,25	23,09	6306-2Z	29,6	ALCANZA
B	1,35	13,85	6206-2Z	20,3	ALCANZA

Fuente técnica: SKF: fichas 6206-2Z y catálogo Deep groove ball bearings, series 6206/6306.

01 · Verificar vida, capacidad estática y encastre

La selección de los dos apoyos puede terminar con dos modelos distintos.

Comprobación	A → 6306-2Z	B → 6206-2Z
Dimensiones d×D×B	30×72×19 mm	30×62×16 mm
Vida $L_{10}h$ calculada	25.298 h	37.778 h
C_0 catálogo	16,0 kN	11,2 kN
$s_0 = C_0/P_0$	7,11	8,30
Objetivo 12.000 h	Superado	Superado

✓ **Selección preliminar: SKF 6306-2Z (A) y SKF 6206-2Z (B)**

Fuente técnica: s_0 debe contrastarse con golpes/requisitos reales; verificar obturación, juego, ajuste, carga mínima y velocidad.

EJERCICIO 02

Bomba: carga radial y axial

Ingeniería en Petróleo: eje con impulsor en voladizo. El rodamiento localizador debe absorber un empuje axial.

Fr,B = ?

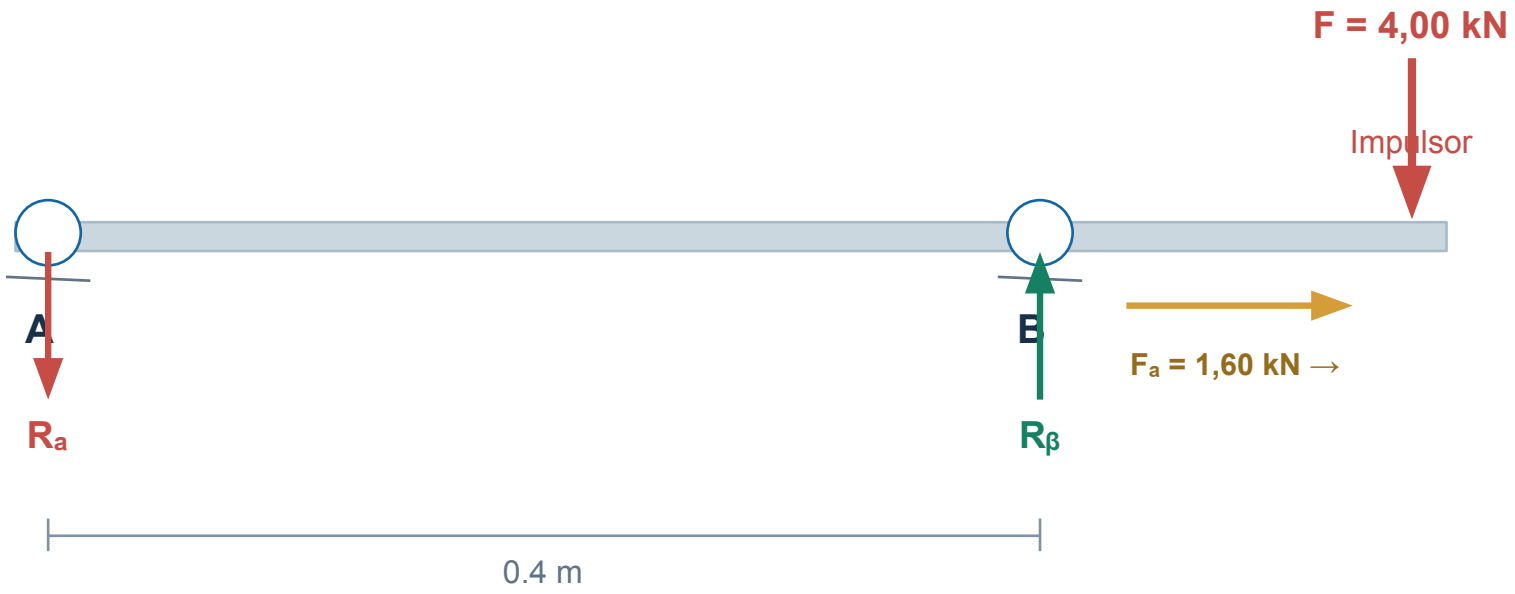
Fa,B = 1,60 kN

H = 20.000 h

Candidato a verificar: rodamiento de rodillos a rótula SKF 22208 E.

02 · Eje con impulsor en voladizo

Se modela la reacción radial en dos apoyos y la fuerza axial transmitida al apoyo B.



DATOS

- AB = 0,40 m
- B → impulsor = 0,15 m
- F radial = 4,00 kN
- Fa en B = 1,60 kN
- n = 1.500 rpm
- H = 20.000 h

Apoyo B localizador; apoyo A no localizador. Se verifica B en este ejercicio, y A requeriría su selección propia.

02 · Equilibrio radial y dirección de la reacción

En voladizo, una reacción puede resultar negativa; el signo indica sentido opuesto.

$$\Sigma M_a = 0 \rightarrow R_\beta \cdot 0{,}40 = 4{,}00 \cdot 0{,}55$$

$R_\beta = 5{,}50$ kN (↑)

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow R_a = 4{,}00 - 5{,}50 = -1{,}50 \text{ kN}$$

$R_a = 1{,}50$ kN (↓), porque cambió el signo

5,50 kN

F_r transmitida a B

1,60 kN

F_a recibida por B

Un apoyo que no puede transmitir reacción en el sentido exigido por el modelo obliga a revisar el sistema de fijación.

02 · Carga dinámica equivalente SKF

Rodamientos de rodillos a rótula: usar los factores propios del rodamiento elegido.

0,291

F_a/F_r = 1,60 / 5,50

0,28

Límite e · SKF 22208 E

$F_a/F_r > e$

Se utiliza Y_2 = 3,6

$P = 0{,}67 \cdot F_r + Y_2 \cdot F_a$

Porque $F_a/F_r > e$; si fuera ≤ e: $P = F_r + Y_1 \cdot F_a$

$P = 0{,}67 \cdot 5{,}50 + 3{,}6 \cdot 1{,}60 = 9{,}445$ kN

Datos de SKF 22208 E: e = 0,28; Y_1 = 2,4; Y_2 = 3,6

Fuente técnica: SKF catálogo de rodamientos de rodillos a rótula, referencia 22208 E; nunca trasladar e/Y a otra familia.

02 · Vida básica y capacidad exigida

Para rodillos se aplica p = 10/3 y, al despejar C, 1/p = 3/10.

Creq = 9,445 · (1.800)^(3/10) = 89,49 kN

1.800 = (60·1.500·20.000)/10^6

Variable de SKF 22208 E	Valor de catálogo
Dimensiones d × D × B	40 × 80 × 23 mm
Capacidad dinámica C	96,5 kN
Capacidad estática C_0	90,0 kN
Coeficientes e / Y_1 / Y_2	0,28 / 2,4 / 3,6
Velocidad límite (ejecución E abierta)	11.000 rpm

✓ **C = 96,5 kN ≥ 89,49 kN → supera el dimensionamiento inicial**

02 · Verificaciones adicionales y decisión

La vida básica no contempla por sí sola suciedad, agua, temperatura ni fallas de lubricación.

25.714 h
Vida básica $L_{10}h$

9,50 kN
$P_0 = F_r + Y_0 \cdot F_a$

9,47
$s_0 = 90 / 9{,}50$

- Confirmar juego interno después de ajuste y temperatura.
- Elegir aceite o grasa según régimen real, viscosidad y contaminación.
- Definir obturaciones externas (22208 E es abierto).
- Verificar carga mínima, desalineación y fijación axial.

✓ **Preselección: SKF 22208 E para el apoyo B; validar el conjunto en SKF.**

Fuente técnica: SKF: catálogo de rodamientos 22208 E; vida $L_{10}h$ calculada con ISO 281.

EJERCICIO 03

Reductor con ciclo variable

Industrial: el apoyo B recibe fuerzas de un engranaje helicoidal en dos planos y en dos condiciones de producción.

n = 900 rpm

Ciclo: 60 / 40 %

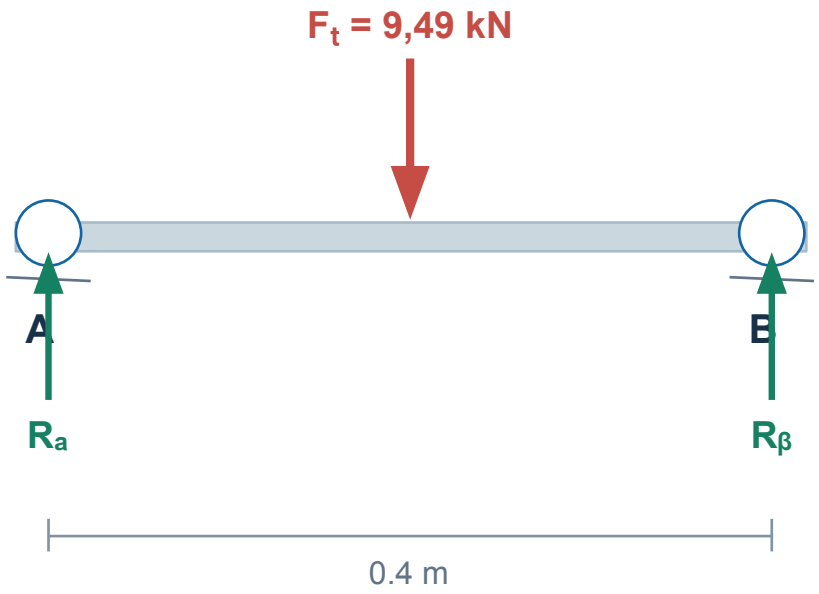
H = 14.000 h

El empuje axial del engranaje se deriva al apoyo localizador A; B se analiza como apoyo radial libre.

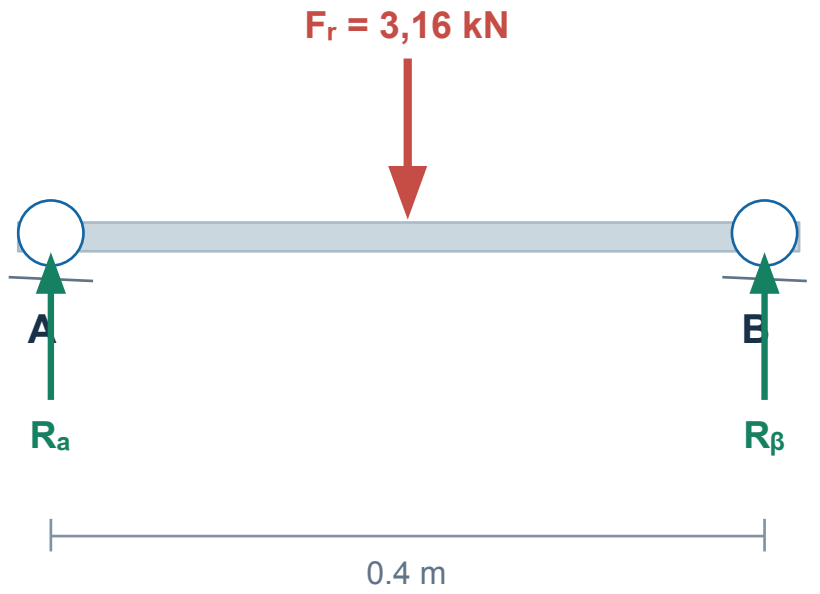
03 · DCL en dos planos y ciclo de servicio

Engranaje ubicado entre apoyos simétricos, a la mitad de una luz de 0,40 m.

PLANO TANGENCIAL · MODO ALTO



PLANO RADIAL · MODO ALTO



Por simetría, las reacciones del apoyo B son $F_t/2$ = 4,745 kN y $F_r/2$ = 1,58 kN; su resultante es ≈ 5,00 kN.

03 · Cargas equivalentes para el servicio variable

Se utiliza P = F_r del apoyo libre B en ausencia de carga axial significativa en ese apoyo.

Modo	Porción de tiempo	Carga resultante sobre B	P_i
Baja carga	60 %	$\sqrt{[(1{,}898)^2 + (0{,}632)^2]} \approx 2{,}00$ kN	2,00 kN
Alta carga	40 %	$\sqrt{[(4{,}745)^2 + (1{,}58)^2]} \approx 5{,}00$ kN	5,00 kN

$$P_eq = [0{,}60 \cdot (2{,}00)^3 + 0{,}40 \cdot (5{,}00)^3]^{(1/3)}$$

n = constante = 900 rpm; ponderación por tiempo y revoluciones equivalente

3,798 kN

Carga dinámica equivalente del ciclo

Fuente técnica: Para velocidades variables se debe ponderar por revoluciones ($n_i \cdot t_i$), no solo por horas.

03 · Calcular C requerida y comparar series

Aunque ambos modelos poseen d = 35 mm, ofrecen capacidades diferentes.

Creq = 3,798 · (756)^(1/3) = 34,60 kN

756 = (60 · 900 · 14.000) / 10^6

SKF propuesto	Dimensiones	C [kN]	$L_{10}h$ estimada	Evaluación
6207-2Z	35×72×17 mm	27,0	6.651 h	NO cumple
6307-2Z	35×80×21 mm	35,1	14.613 h	Cumple, margen bajo

✓ **Elegido preliminarmente: SKF 6307-2Z**

14.613 / 14.000 = 1,04: resultado cercano al umbral. Revisar especialmente lubricación, confiabilidad, montaje y condiciones reales.

03 · Cierre mecánico del reductor

El eje helicoidal genera empuje axial: este ejercicio dimensiona solamente el apoyo radial B.

19,0 kN
C_0 SKF 6307-2Z

3,80
s_0 (P_0 máx = 5,00 kN)

900 rpm
Velocidad de trabajo

- El apoyo A localizador debe resistir el empuje axial del engranaje: calcularlo por separado.
- No imponer simultáneamente fijación axial rígida en A y B sin verificar dilataciones.
- La nueva serie 63 cambia alojamiento: Ø exterior de 72 a 80 mm.
- Comprobar ruido, vibración, precarga/juego y presencia de partículas.

✓ **Resultado provisional: 6307-2Z en el apoyo B, condicionado al diseño completo.**

Ficha SKF usada en los ejercicios

Valores de catálogo de referencias concretas; siempre controlar sufijos y última ficha técnica.

Referencia	d × D × B [mm]	C [kN]	C_0 [kN]	Uso en clase
6206-2Z	30 × 62 × 16	20,3	11,2	A/B ejercicio 01
6306-2Z	30 × 72 × 19	29,6	16,0	A ejercicio 01
22208 E	40 × 80 × 23	96,5	90,0	B ejercicio 02
6207-2Z	35 × 72 × 17	27,0	15,3	B ejercicio 03
6307-2Z	35 × 80 × 21	35,1	19,0	B ejercicio 03

El cálculo simplificado $L_{10}h$ es una preselección: SKF utiliza factores de modificación de vida que dependen de lubricación y contaminación.

Fuente técnica: SKF Rolling Bearings; SKF Deep groove ball bearings; catálogo SKF de rodamientos de rodillos a rótula.

Lista de comprobación para el informe del alumno

Antes de emitir el código comercial definitivo:

- ☐ Croquis funcional y sentido de cargas
- ☐ Reacciones por equilibrio
- ☐ Vida objetivo y Creq
- ☐ $L_{10}h$ y s_0
- ☐ Juego, asientos y dilatación
- ☐ Condiciones de contaminación
- ☐ DCL en cada plano
- ☐ P y P_0 por tipo de rodamiento
- ☐ Tabla real SKF y designación
- ☐ Velocidad y carga mínima
- ☐ Lubricación y obturaciones
- ☐ Justificación técnico-funcional

Registrar cualquier dato faltante como “pendiente de validación”, no inventar un factor de catálogo.

Preguntas para trabajo práctico

Variantes para resolver sin modificar la metodología.

- 01 Si la fuerza radial de la polea aumenta un 25 %, ¿sigue alcanzando SKF 6306-2Z en A?
- 02 Para la bomba: si F_a baja de 1,60 a 1,20 kN, ¿qué expresión de P debe aplicarse?
- 03 En el reductor: si el modo de alta carga pasa del 40 % al 55 %, ¿cambia la designación?
- 04 ¿En qué casos es insuficiente mirar solamente $L_{10}h$ y C_0/P_0?

Se espera: cálculo numérico, fuente SKF, croquis actualizado y conclusión razonada.

Fuentes SKF y alcance técnico

Fuentes técnicas para contrastar capacidades, ecuaciones y datos de catálogo.

1. SKF Rolling Bearings · catálogo 17000

https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196802809de-Rolling-bearings---17000_1-EN_tcm_12-121486.pdf

2. SKF Bearings and Mounted Products

https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196807026e8-100-700_SKF_bearings_and_mounted_products_2018_tcm_12-314117.pdf

3. Ficha individual SKF 6206-2Z

https://www.tme.eu/Document/b4bda4993ac86d9e2328627bbdcccf14/6206-2Z.pdf

4. Ficha SKF 6206-RZ · capacidades y dimensiones

https://www.skf.com/rs/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6206-RZ

Los resultados de vida son $L_{10}h$ nominales a 90 % de confiabilidad, NO garantía de horas reales. Ejercicios con supuestos docentes.