GUÍA DE PROCEDIMIENTO Y SELECCIÓN

RODAMIENTOS

Cálculo • criterios de selección • verificación • montaje • mantenimiento

Institución	Universidad Nacional de Cuyo (UNCUYO)
Carreras	Ingeniería Mecatrónica · Ingeniería en Petróleo · Ingeniería Industrial
Asignatura	Elementos de Máquinas
Responsable	Ing. Electromecánico Fabricio Iacovetta

PROPÓSITO Enfoque interdisciplinario: fuerzas en ejes de transmisión, selección de la familia adecuada, cálculo de vida y revisiones específicas para automatización, petróleo e industria.

Base técnica: catálogos, herramientas y publicaciones de SKF; criterios de ISO 281, ISO 76 e ISO 15243.

Edición: octubre de 2026 · Apunte didáctico para uso académico

ALCANCE Los ejemplos numéricos declaran sus hipótesis. Una decisión de compra o diseño final exige verificar los datos de la referencia exacta, los límites del fabricante y las condiciones reales de servicio.

1. Objetivos de aprendizaje y método

Al terminar esta guía el estudiante debe poder pasar de las condiciones de servicio de una máquina a una designación técnicamente defendible de rodamiento, explicar cada fórmula y documentar las verificaciones.

- Mecatrónica: reconocer efectos de velocidad, aceleraciones, precisión, rigidez, vibración y posibles corrientes eléctricas en accionamientos controlados.
- Petróleo: evaluar empuje axial, contaminantes, temperatura, disponibilidad, sellado y confiabilidad de bombas, ventiladores y compresores.
- Industrial: vincular elección de componentes con estandarización, mantenibilidad, costos y continuidad de producción.



Figura 1. Secuencia iterativa de selección: si una verificación falla, se vuelve a la alternativa anterior.

2. ¿Qué es un rodamiento y qué trabajo cumple?

Es un apoyo mecánico que permite movimiento relativo, generalmente rotación, mediante elementos rodantes (bolas o rodillos) y pistas. Transmite fuerzas desde el eje hacia el alojamiento con rozamiento y deformaciones acotados. No es suficiente conocer el diámetro del eje: el diseño incluye carga, velocidad, temperatura, lubricación, ajuste, sellado y mantenimiento.

DEFINICIÓN CLAVE Un rodamiento radial se dimensiona por la combinación real de cargas, no solo por el peso del eje. En transmisiones, las fuerzas de correas y engranajes suelen dominar las reacciones en los apoyos.

3. Familias de rodamientos: cómo decidir el tipo

Tipo	Aptitud y uso frecuente	Precaución clave
Bolas rígidas (serie 6xxx)	Carga radial y axial moderada, velocidades altas; motores, poleas.	No son la mejor solución para grandes desalineaciones ni fuertes empujes.
Bolas contacto angular	Cargas combinadas y rigidez axial; husillos, bombas.	Sentido de empuje, emparejamiento y precarga.
Rodillos cilíndricos (NU/N, etc.)	Gran carga radial; algunas variantes permiten libre desplazamiento axial interno.	La capacidad axial depende de la ejecución; NU/N no sustituyen un apoyo localizador.
Rodillos cónicos	Carga combinada importante; cajas y ruedas.	Ajuste axial, precarga y pares opuestos.
Rodillos a rótula	Cargas altas y desalineaciones; ventiladores, trituración, bombas.	Mayor fricción; respetar velocidad y carga mínima.
Bolas autoalineables	Desalineaciones con cargas ligeras a moderadas.	Menor rigidez y capacidad relativa.
Rodillos de agujas	Espacio radial escaso; reductores compactos.	Pistas, dureza, lubricación y limitaciones de empuje.
Axiales / de empuje	Carga preponderantemente axial, según subtipo.	Un axial de bolas de simple efecto no admite carga radial.

4. Ficha de datos obligatoria antes de calcular

Datos	Símbolo / unidad	¿Por qué importa?
Geometría y espacio	d, D, B [mm]	Diámetro del asiento, diámetro externo disponible, ancho; interferencias.
Esfuerzos	F_r, F_a [N o kN]	Reacciones y componentes axial/radial sobre cada apoyo.
Rotación y ciclos	n [r/min], t_i, n_i	Vida, calentamiento y daño con regímenes variables.
Vida requerida	L_req [h]	Objetivo de diseño bajo fiabilidad definida.
Picos / paradas	F_max, vibración	Condición estática y golpes de puesta en marcha.
Ambiente	T [°C], agua, polvo	Grasa, lubricación, sellos, corrosión.
Montaje	A/B fijo-libre, ajuste	Dilatación y facilidad de mantenimiento.
Criticidad	horas/día, costo de paro	Fiabilidad, disponibilidad y mantenimiento.

5. Procedimiento técnico de selección, paso a paso

Paso 1. Definir el sistema de apoyos

Dibujar eje, poleas, engranajes, acoples, fuerzas externas y las dos (o más) posiciones de apoyo. Indicar qué rodamiento fija axialmente el eje (localizador) y cuál absorbe la dilatación (libre/no localizador). No imponer bloqueo axial en ambos extremos de un eje largo que se calienta, salvo solución diseñada específicamente.

Paso 2. Obtener las fuerzas sobre el eje y las reacciones

Realizar diagramas de cuerpo libre en dos planos ortogonales. Aplicar equilibrio estático: suma de fuerzas igual a cero y suma de momentos igual a cero. Si existen correas, engranajes o fuerzas en voladizo, calcularlas antes de seleccionar el rodamiento.

$$\Sigma F_x = 0; \quad \Sigma F_y = 0; \quad \Sigma F_z = 0; \quad \Sigma M_A = 0$$

$$F_r,A = \sqrt{(R_Ay^2 + R_Az^2)} \quad ; \quad F_r,B = \sqrt{(R_By^2 + R_Bz^2)}$$

F_r,A y F_r,B: cargas radiales resultantes en cada apoyo [kN]. R_Ay, R_Az, R_By y R_Bz: componentes de reacción [kN]. Asignar F_a al apoyo o conjunto que realmente toma el empuje; no dividir automáticamente el axial en partes iguales.

Paso 3. Elegir una familia y un diámetro candidato

Comparar capacidad para cargas radiales, axiales y combinadas, velocidad, desalineación, espacio, rigidez, desmontaje y costo. Identificar como primera restricción d (asiento de eje). La serie puede variarse para aumentar C sin modificar d, pero el D y el B sí pueden cambiar.

Paso 4. Determinar la carga dinámica equivalente P

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad [kN]$$

P: carga dinámica equivalente; F_r: carga radial; F_a: carga axial; X, Y: factores propios del tipo/serie/condición de carga. El umbral e y las condiciones para pasar a P = F_r se obtienen del catálogo, no de memoria. En rodamientos a rótula y contacto angular las expresiones particulares pueden diferir.

ADVERTENCIA DE CÁLCULO No usar X e Y universales. Para un 6208 con carga solo radial, P = F_r; con carga axial se necesita la regla de carga equivalente de esa referencia, sus factores y el cociente F_a/F_r.

Paso 5. Dimensionar capacidad dinámica C por vida básica L_{10}

$$L_{10} = (C / P)^p \qquad [\text{millones de revoluciones}]$$

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

$$C_req = P \cdot [(60 \cdot n \cdot L_req) / 10^6]^{1/p} \quad [kN]$$

C: capacidad de carga dinámica básica del catálogo [kN]; P: carga dinámica equivalente [kN]; p: exponente (3 para bolas, 10/3 para rodillos); n: velocidad [r/min]; $L_{10}h$: vida básica [horas]. L_{10} es una vida nominal estadística asociada al 90 % de confiabilidad en el modelo básico; no es garantía de duración de una unidad ni el intervalo de lubricación.

Comparar el C_req con el C de cada candidato y volver a comprobar todos los condicionantes. La selección no termina cuando se satisface $L_{10}h \geq L_req$.

Paso 6. Si varían las cargas o velocidades, evaluar el ciclo de servicio

$$P_eq = [\Sigma(q_i \cdot P_i^p)]^{1/p} \quad (n \text{ constante})$$

$$P_eq = [\Sigma(n_i \cdot t_i \cdot P_i^p) / \Sigma(n_i \cdot t_i)]^{1/p} \quad (n \text{ variable})$$

q_i: fracción de tiempo en cada régimen, suma 1; P_i: carga equivalente del régimen; n_i: velocidad; t_i: duración. Para la segunda ecuación, t_i deben expresarse en la misma unidad. La velocidad media ponderada por tiempo es $\bar{n} = \Sigma(n_i t_i)/\Sigma t_i$; con ella calcular $L_{10}h$ mediante P_eq. Válido como evaluación simplificada de fatiga cuando cada régimen tiene sus propios P_i y se respetan las hipótesis de la vida básica.

Paso 7. Verificar capacidad estática y golpes

$$s_0 = C_0 / P_0 \qquad ; \qquad C_0,req = s_0,req \cdot P_0$$

C_0: capacidad de carga estática básica; P_0: carga estática equivalente con el caso más desfavorable (incluidos picos); s_0: factor de seguridad estática. Obtener P_0 con X_0 e Y_0 cuando corresponda y revisar los valores guía de s_0 de SKF según exigencia, incertidumbre y tolerancia a deformación. No confundir C_0 con C ni calcular P_0 usando simplemente la carga promedio.

Paso 8. Verificar carga mínima, límite de velocidad y temperatura

Un rodamiento sobredimensionado puede patinar si opera con carga demasiado pequeña. SKF propone como orientación general inicial cargas mínimas del orden de 0,01 C en bolas y 0,02 C en rodillos, pero la verificación definitiva es la del tipo y designación concretos. Considerar arranques rápidos y cargas muy ligeras.

Distinguir velocidad de referencia (indicador térmico que depende de lubricación y transferencia de calor) de velocidad límite (restricción mecánica, incluyendo ejecución, jaula y sellado). Comprobar la referencia SKF específica; una evaluación térmica más detallada puede ser necesaria aunque n sea inferior al límite.

Paso 9. Comprobar lubricación real a temperatura de trabajo

$$d_m = (d + D) / 2 \qquad ; \qquad \kappa = \nu / \nu_1$$

d_m: diámetro medio del rodamiento [mm]; v: viscosidad cinemática real del aceite o aceite base de la grasa a la temperatura de servicio [mm^2/s]; ν_1: viscosidad de referencia requerida para d_m y n, tomada de diagramas/ayudas SKF; κ: razón de viscosidades. Una grasa ISO/NLGI conocida no permite por sí sola conocer v a 70 °C. Verificar compatibilidad de grasa, reengrase, contaminación, velocidad y fuente de calor.

Paso 10. Diseñar interfaces y montaje

Seleccionar tolerancias de eje/alojamiento según el aro que gira respecto de la carga, intensidad de ajuste, material, pared del soporte, temperatura y función de localización. Los ajustes por interferencia reducen el juego interno; una diferencia térmica entre aros también puede reducirlo. Las clases CN, C3, C4 no significan automáticamente “mejor”, sino distintos rangos de juego inicial.

Comprobar radios de encuentro, resaltes, chaflanes, hombros y posibilidad de extraer. En el montaje, aplicar la fuerza únicamente al aro que se está ajustando; nunca transmitir el esfuerzo por las bolas o rodillos. Asegurar limpieza de asientos, herramientas adecuadas y control posterior de temperatura/vibración.

Paso 11. Elegir obturación y ejecución

Definir rodamiento abierto, blindaje sin contacto (por ejemplo, 2Z) o sellos de contacto (por ejemplo, 2RS1, según ejecución). Comparar ingreso de contaminantes, retención de grasa, fricción térmica, velocidad, reparación y limpieza. Comprobar jaula, juego y tolerancias de precisión si el equipo lo exige.

Paso 12. Cerrar la selección y documentarla

Verificación	Dato a consignar	Criterio de cierre
Geometría	Referencia, d × D × B, resaltes	Entra en eje y soporte, sin interferencias.
Dinámica	C, P, $L_{10}h$, L_req	Vida básica suficiente para objetivo declarado.
Estática	C_0, P_0, s_0 y guía usada	Picos y choques cubiertos.
Mínima / velocidad	P_min, n, n_ref, n_lim	Sin patinaje ni exceso mecánico/térmico.
Lubricación	Grasa/aceite, κ, temperatura	Viscosidad y suministro adecuados.
Montaje	Fijo-libre, ajustes, juego	Dilatación y desmontaje resueltos.
Confiabilidad	Sellos, ambiente, monitoreo	Riesgos residuales y plan de inspección.

AVANZADO Vida modificada: $L_nmh = a_1 \cdot aSKF \cdot L_{10}h$, con confiabilidad objetivo y factor aSKF obtenido según SKF considerando lubricación, contaminación y límite de fatiga. No adoptar aSKF = 1 por comodidad ni confundirlo con un factor de seguridad arbitrario.

6. Ejemplo resuelto A — Mecatrónica: eje de polea entre apoyos

En un módulo automatizado, una polea aplica una fuerza radial vertical de 3,60 kN sobre un eje de diámetro de asiento 40 mm. Distancia entre apoyos L = 0,40 m; la polea está a 0,15 m de A y 0,25 m de B. Giro constante n = 1.450 r/min. Se requiere L_req = 18.000 h. Se supone empuje axial despreciable, apoyo perfectamente alineado y cargas estacionarias (caso de aula).

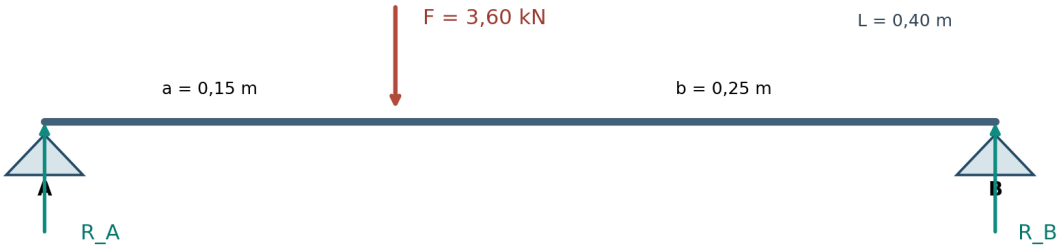


Figura 2. Diagrama simplificado para el cálculo de reacciones; no representa fuerzas tangenciales o de precarga adicionales.

$$R_B \cdot 0{,}40 - 3{,}60 \cdot 0{,}15 = 0 \Rightarrow R_B = 1{,}35\ \text{kN}$$

$$R_A = 3{,}60 - 1{,}35 = 2{,}25\ \text{kN}$$

Se analiza primero el apoyo crítico A (2,25 kN). Como el ejercicio supone carga exclusivamente radial sobre rodamiento rígido de bolas, P_A = F_r,A = 2,25 kN y p = 3.

$$C_req = 2{,}25 \cdot [(60 \cdot 1.450 \cdot 18.000) \,/\, 10^6]^{1/3} = 26{,}13\ \text{kN}$$

Candidato didáctico: SKF 6208-2Z, d = 40 mm, D = 80 mm, B = 18 mm, C = 32,5 kN, C_0 = 19 kN. Estos datos de ficha corresponden a la ejecución citada; revisar la designación exacta antes de compra.

$$L_{10}h,A = [10^6 \,/\, (60 \cdot 1.450)] \cdot (32{,}5 \,/\, 2{,}25)^3 \approx 34.640\ \text{h}$$

$$s_0,A = 19 / 2{,}25 = 8{,}44 \quad \text{(solo caso radial estático sin impactos)}$$

Resultado: cumple el objetivo de vida básica del caso idealizado. El apoyo B, menos cargado, debe igualmente verificarse por carga mínima. A modo de primera comprobación, 0,01 C = 0,325 kN; ambas reacciones superan esa referencia general. Falta revisar el diseño de localización axial, juego, ajustes, grasa/temperatura, picos, vida modificada y prestaciones del sellado 2Z.

PUNTO PARA DISCUSIÓN Si la tensión de la correa aumenta en servicio o hay variaciones bruscas de aceleración, recalcular las fuerzas sobre ambos apoyos: la vida depende de P elevado a la tercera potencia para rodamientos de bolas.

7. Ejemplo resuelto B — Petróleo: empuje axial en ventilador o bomba

Se estudia conceptualmente un rodamiento de rodillos a rótula SKF 22217 CC/W33 con datos históricos publicados por SKF: C = 210 kN, e = 0,22, Y_1 = 3,0 y Y_2 = 4,6. Velocidad n = 1.500 r/min y F_r = 14,0 kN. Estos factores provienen de un ejemplo SKF y sirven para comparar regímenes; para una selección real se deberán actualizar catálogo, designación, cálculos de P_0 y límites de velocidad.

$$\text{Si } F_a/F_r \leq e\text{: } P = F_r + Y_1\, F_a$$

$$\text{Si } F_a/F_r > e\text{: } P = 0{,}67\, F_r + Y_2\, F_a$$

Condición	F_a	F_a/F_r	P según SKF	$L_{10}h$ aproximada
A: nominal	2,70 kN	0,193 (≤ 0,22)	14 + 3·2,7 = 22,10 kN	20.192 h
B: empuje mayor	3,40 kN	0,243 (> 0,22)	0,67·14 + 4,6·3,4 = 25,02 kN	13.352 h

Entre A y B el empuje axial aumenta 0,70 kN (26 %), pero la vida básica baja alrededor de 34 %. Es fundamental medir/calcular empuje de proceso, seleccionar sellos y verificar lubricación, agua, partículas y temperatura del equipo. Un rodamiento con gran C también requiere comprobar carga mínima.

8. Aplicación C — Industrial: eje de reductor con engranaje helicoidal

Hipótesis simplificada: par transmitido T = 120 N·m, diámetro primitivo d_p = 0,160 m, ángulo de hélice β = 20°, ángulo de presión normal α_n = 20°. El engranaje está entre A y B; L = 0,45 m y a = 0,20 m medidos desde A. Se ignoran el peso, momentos de vuelco por empuje y otras fuerzas solo para mostrar la metodología inicial.

$$F_t = 2T/d_p = 2{\cdot}120/0{,}160 = 1.500 \text{ N} = 1{,}50 \text{ kN}$$

$$\tan(\alpha_t) = \tan(\alpha_n)/\cos(\beta) \;\Rightarrow\; \alpha_t \approx 21{,}17°$$

$$F_r,engr = F_t \cdot \tan(\alpha_t) \approx 0{,}581 \text{ kN}$$

$$F_a,engr = F_t \cdot \tan(\beta) \approx 0{,}546 \text{ kN}$$

$$R_A \approx (L-a)/L \cdot \sqrt{(F_t{}^2 + F_r,engr^2)} = 0{,}894 \text{ kN}$$

$$R_B \approx a/L \cdot \sqrt{(F_t{}^2 + F_r,engr^2)} = 0{,}715 \text{ kN}$$

Estas expresiones presuponen componentes radial/tangencial aplicadas en una misma sección y apoyos simplemente sustentados; en un diseño completo deben incorporarse la geometría espacial real del engrane, momentos asociados al empuje axial, otros engranajes y cargas externas. El empuje F_a de 0,546 kN se debe asignar al rodamiento localizador, o al par axial diseñado, y entonces consultar X, Y y e para cada referencia.

Análisis para el informe	Pregunta guía
Selección de familia	¿Conviene rígido de bolas, contacto angular o cónico si el engranaje produce empuje?
Distribución axial	¿Cuál es el rodamiento fijo y cuál el libre para dilatación?
Vida nominal	¿Qué C exige el apoyo más solicitado para las horas y rpm del proyecto?

Industrialización	¿Qué serie se consigue localmente, se puede estandarizar y reemplazar?

9. Consideraciones específicas por carrera

Mecatrónica	Petróleo	Industrial
Alto n, arranques/frenadas; cargas dinámicas, rigidez, precisión y ruido.	Agua, hidrocarburos, polvo abrasivo, altas temperaturas y sellado reforzado.	Disponibilidad de repuestos, estandarización, logística, MTTR y costo de paro.
Servomotores/variadores: investigar corrientes de eje y posibles daños eléctricos.	Bombas y compresores: empuje axial variable, carcasas, vibración y criticidad.	Transportadores/reductores: ciclos de carga, picos y mantenimiento basado en condición.
Verificar diseño de precarga, juego y dilatación de husillos.	Documentar monitoreo de vibración, aceite y contaminación.	Comparar costo total, no solamente precio unitario.

10. Actividades propuestas (sin resolver)

1. Diseñar la selección inicial de un 6208-2Z para F_r = 2,8 kN, n = 1.750 r/min y 22.000 h. Calcular C_req, $L_{10}h$ del candidato y s_0 bajo carga puramente radial; determinar si cumple y qué verificaciones faltan.
2. Una bomba trabaja 40 % del tiempo con P = 10 kN y 60 % con P = 15 kN, a 1.000 r/min. Calcular P_eq para rodillos (p = 10/3) y la C necesaria para 25.000 h. Explicar qué cambia ante presencia de agua o pobre filtración.
3. Una transmisión con dos poleas y apoyos en voladizo requiere DCL en dos planos. Elegir apoyo fijo/libre, incluir carga axial accidental y comparar dos alternativas de catálogo SKF.

11. Plantilla de entrega del alumno

Ítem de evaluación	Evidencia mínima esperada
DCL y fuerzas	Esquema, distancias, ecuaciones, signos y unidades.
Tipo elegido	Justificación de carga/espacio/velocidad/desalineación.
Ficha SKF	Referencia exacta, enlace y fecha de consulta.
Cálculos	F_r, F_a, P, C_req, $L_{10}h$; p y X/Y/e correctos.
Comprobaciones	P_0, s_0, carga mínima, velocidad, lubricación.
Integración	Ajustes, juego, soporte, sellos y mantenimiento.
Conclusión	Cumple/no cumple, hipótesis, riesgos y alternativas.

12. Errores frecuentes que deben evitarse

- Seleccionar solo por diámetro interior; omitir diámetro exterior, ancho y resaltes.
- Confundir C con C_0, $L_{10}h$ con garantía de vida, o carga radial con carga equivalente.
- Utilizar X/Y/e de otro modelo o sumar toda la carga axial sobre ambos apoyos.
- Ignorar cargas de correa y engranajes, impactos, arranque y cambio de régimen.
- Elegir “más grande” sin controlar carga mínima o temperatura de trabajo.
- Recetar C3 siempre, sin evaluar ajuste por interferencia ni gradiente térmico.
- Suponer que 2Z y 2RS1 tienen mismo rozamiento, protección y velocidades.
- Montar golpeando el aro incorrecto y transmitir esfuerzo por elementos rodantes.

Referencias técnicas, normas y herramientas

Fuentes del fabricante empleadas para la estructura metodológica y los criterios de interpretación (consultadas en octubre de 2026):

1. SKF, Catálogo Rolling Bearings 17000 EN: proceso de selección, dimensionado, interfaces, lubricación, velocidad, sellado.
https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196802809de-Rolling-bearings---17000_1-EN_tcm_12-121486.pdf

2. SKF Product Select: catálogo actualizado y evaluación de prestaciones de referencias concretas.
https://productselect.skf.com/

3. SKF Evolution, Bearing Selection Process (2020): criterios integrales de selección.
https://evolution.skf.com/en/bearing-selection-process/

4. SKF Evolution, New SKF IEC offers easy online calculations: P, P_0 y vida ISO.
https://evolution.skf.com/us/new-skf-iec-offers-easy-online-calculations-2/

5. SKF Evolution, Spherical roller bearings in fans: ejemplo de cargas axiales y vida.
https://evolution.skf.com/spherical-roller-bearings-in-fans/

6. SKF Evolution, Bearing damage analysis – ISO 15243: modos y causas de daño.
https://evolution.skf.com/bearing-damage-analysis-iso-15243-is-here-to-help-you/

7. SKF Evolution, A basic guide to bearing housing selection: carcasas, sellado y monitoreo.
https://evolution.skf.com/en/a-basic-guide-to-bearing-housing-selection/

8. SKF, ficha de producto 6208-2Z: dimensiones y capacidades de catálogo.
https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6208-2Z

Normas de referencia: ISO 281 (vida nominal de rodamientos); ISO 76 (carga estática básica); ISO 15243 (clasificación de daños y fallas). Consultar la edición vigente y el texto normativo adquirido/licenciado cuando corresponda. No se reproducen tablas completas del fabricante.

USO CORRECTO DE LA GUÍA El método se basa en SKF, pero es un desarrollo didáctico propio. Ningún valor "ilustrativo" puede reemplazar una ficha de catálogo actual, y el objetivo L_{10} no equivale a vida útil real garantizada.