UNIVERSIDAD NEBRIJA

IME 108 – CÁLCULO, DISEÑO Y ENSAYO DE MÁQUINAS

TEMA 8. COJINETES Y LUBRICACIÓN

Prof. Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

COJINETES Y LUBRICACIÓN

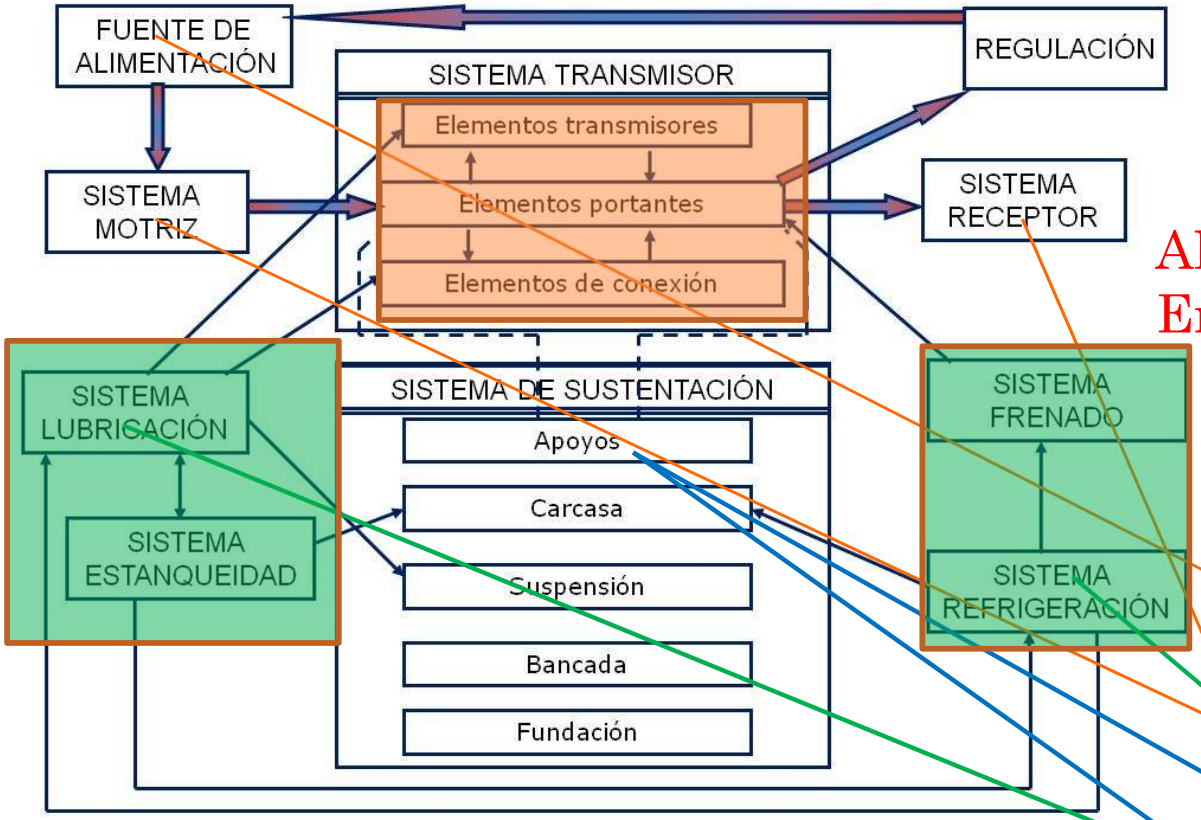
1. Introducción
2. Composición y Nomenclatura
3. Clasificación de Rodamientos
4. Normas Internacionales
5. Lubricación
6. Condicionantes Operativos
7. Vida útil
8. Selección de rodamientos
9. Ejemplos
10. Bibliografía

UNIVERSIDAD NEBRIJA

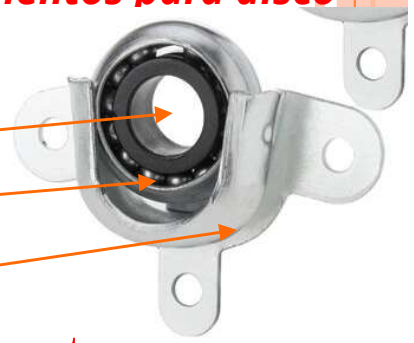
Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

COJINETES Y LUBRICACIÓN

1. INTRODUCCIÓN

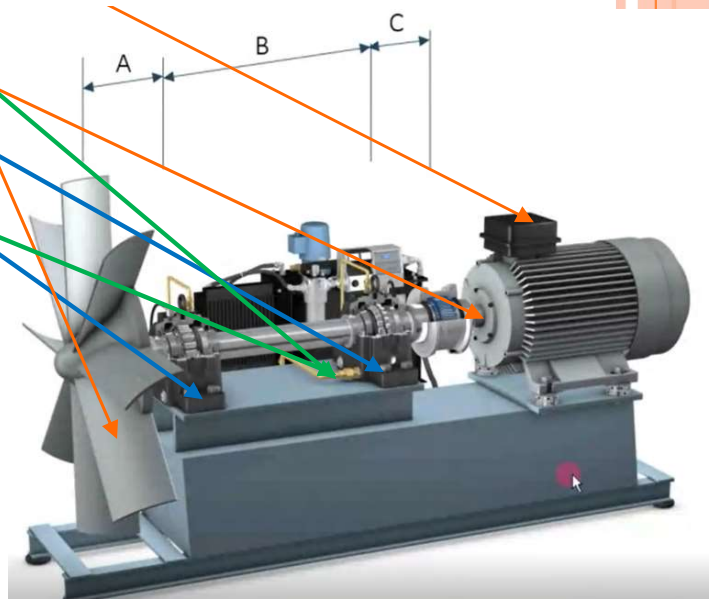


Soporte metálico con rodamientos para disco recogedor de persiana



Eje.
Cojinete
Alojamiento.

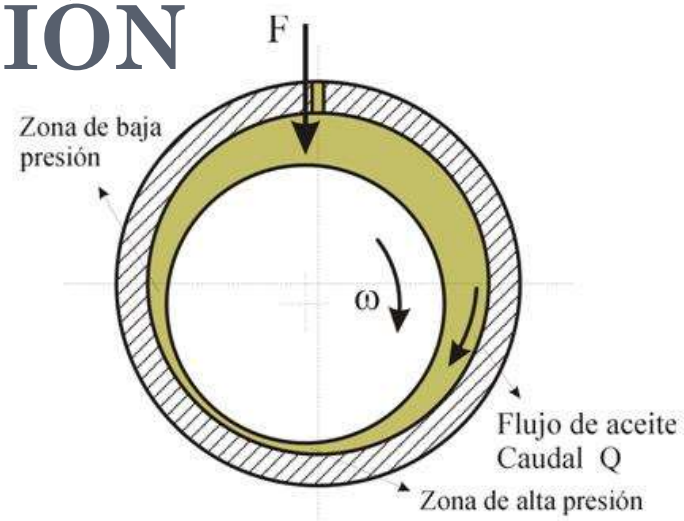
Alineación importante.
En este caso se asegura con rotula



https://www.youtube.com/watch?v=Cz-9lhSv5ZY
Lubricación, refrigeración, limpieza.
Cojinete hidrodinámico.

COJINETES Y LUBRICACIÓN

1. INTRODUCCIÓN



- COJINETE
  - Elemento que dispuesto como soporte o vínculo de un eje permite la rotación del mismo dentro de él, guidando dicha rotación.
- COJINETE DE DESLIZAMIENTO
  - Permite la rotación del árbol, por fricción directa entre ambos o por la interposición entre los mismos de una sustancia generalmente líquida (lubricante). Movimiento de deslizamiento entre el árbol y el cojinete.
  - De fricción, hidrostáticos, hidrodinámicos
- COJINETE DE RODAMIENTO
  - Rodamientos.
  - Permite la rotación del árbol por la interposición de elementos rodantes.

Material antifricción.

Bronce

UNIVERSIDAD NEBRIJA

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

COJINETES Y LUBRICACIÓN
1. INTRODUCCIÓN: COJ. DE FRICCIÓN

http://en.wikipedia.org/wiki/File:NYC_100-driving-axle-friction-bearing.jpg

Cojinete de fricción de eje de potencia. Construido en 1906.
New York Central S-Motor

UNIVERSIDAD NEBRIJA

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

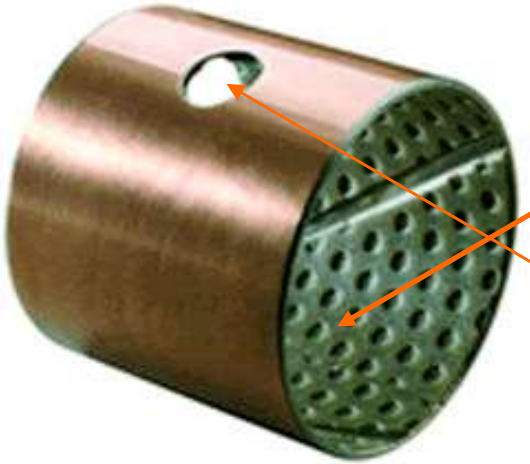
Hecho material especial con rozamiento o fricción baja. Como casquillos.

COJINETES Y LUBRICACIÓN

1. INTRODUCCIÓN: COJ. DE FRICCIÓN

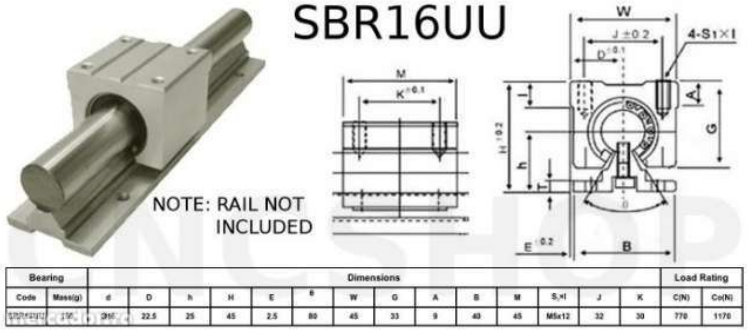
Deslizamiento lineal

Giro.



Poros para colocar grasa (lubricante)

Barreno de lubricación.



Máquina herramienta. Las guías de los carros solución más barata.

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

Hec

C

1.

ineal

SKF

	Solid bronze	Sintered bronze	Wrapped bronze	PTFE composite	POM composite	PTFE polyamide	Filament wound
Temperature range, °C	–40 .. +250	–10 .. +90	–40 .. +150	–200 .. +250	–40 .. +110	–30 .. +110	–50 .. +140
Friction coefficient, μ	0,08 .. 0,15	0,05 .. 0,10	0,08 .. 0,15	0,03 .. 0,25	0,02 .. 0,20	0,06 .. 0,15	0,03 .. 0,08
Permissible load, N/mm²							
– dynamic	25	10	40	80 (v ≤ 0,02)	120 (v ≤ 0,02)	40	140
– static	45	20	120	250	250	80	200
Permissible sliding velocity, m/s	0,5	0,25 .. 5	1,0	2,0 (p ≤ 1,0)	2,5 (p ≤ 1,0)	1,0	0,5
Shaft tolerance	e7 – e8	f7 – f8	e7 – f8	f7 – h8	h7 – h8	h8 – h9	h8
Housing tolerance	H7	H7	H7	H7	H7	H7	H7
Shaft roughness R_a, μm	0 .. 1,0	0,2 .. 0,8	0,4 .. 0,8	0 .. 0,4	0 .. 0,8	0 .. 0,8	0,2 – 0,4
Shaft hardness, HB	165 – 400	200 – 300	150 – 400	300 – 600	150 – 600	100 – 300	> 490
Assortment and product series designation	PBM, PBMF	PSM, PSMF	PRM, PRMF	PCM .. E, PCMF .. E, PCMW .. E, PCMS .. E	PCM .. M, PCMW .. M, PCMS .. M	PPM, PPMF	PWM

Máqui
guías d
más barata.

SIDAD
RIJA

Hecho material especial con rozamiento o fricción baja. Como casquillos.

COJINETES Y LUBRICACIÓN

1. INTRODUCCIÓN: COJ. DE FRICCIÓN

Primera solución porque es la más barata.
Para velocidades bajas.

Datos.
F-Fuerza radial.
L- longitud cojinete.
D- Diámetro del eje.
P- Presión por área proyectada. Proyecta el cojinete sobre un plano.

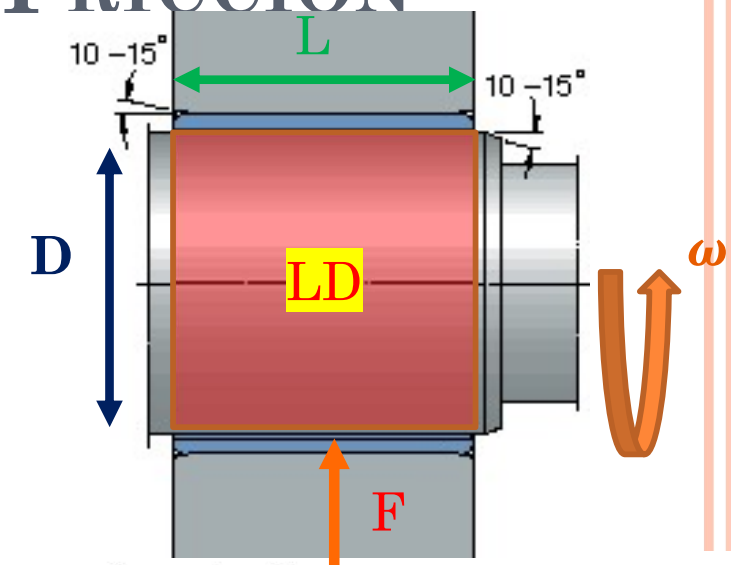
$$P = \frac{F}{LD}$$

V= velocidad m/s velocidad relativa.

$$V = \omega \frac{D}{2}$$

P.V Capacidad de disipación de calor/Calor generado.
Presión por velocidad.

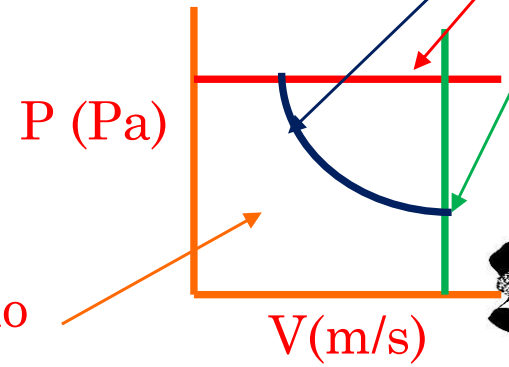
Tanteo L/D=1 para saber como vas de Presión y volumen.
Después se va ajustando L/D conforme nuestros requerimientos.



Campo de validez

Tabla 1 · Campo de validez del cálculo de la duración de vida

Campo de validez para		Permaglide® P1	Permaglide® P2
Valor pv			
pv	N/mm² · m/s	0,03 ≤ pv ≤ 1,8	0,2≤ pv ≤ 3
Presión específica			
p	N/mm²	p ≤56	p ≤70
Velocidad de deslizamiento			
v	m/s	v ≤ 2	v ≤ 3

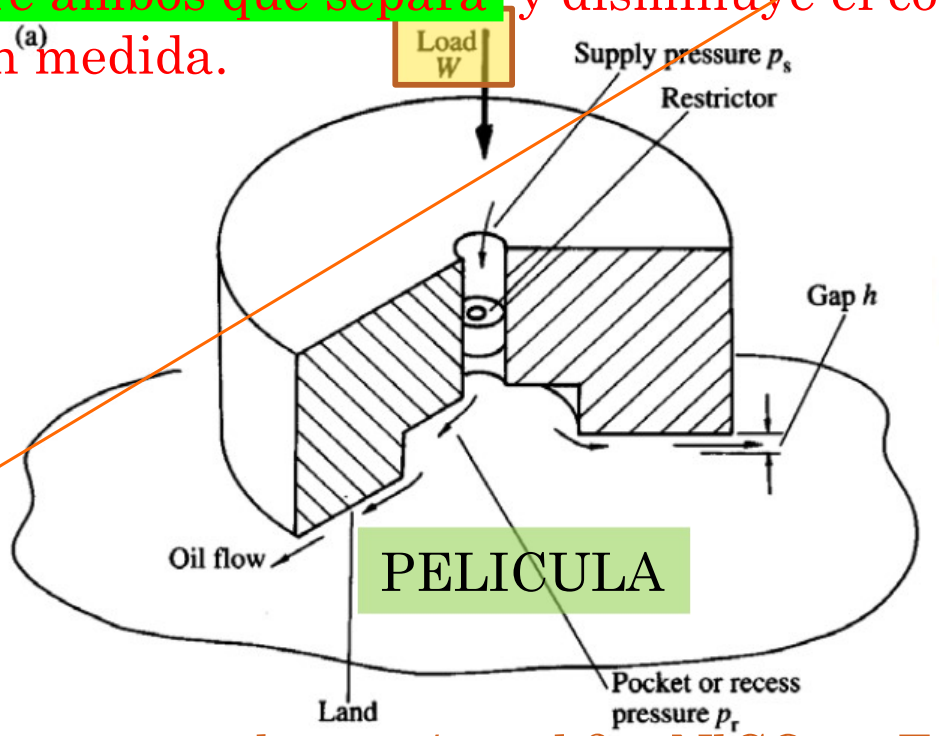


UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN
1. INTRODUCCIÓN: COJ. HIDROESTÁTICO

Ej. Guías Rectificadoras.
Maquinas corte lentes.
Mover elementos pesados

Generación de película de aceite. A través de la introducción de un aceite a presión que se desliza entre los dos elementos generando una película entre ambos que separa y disminuye el coeficiente de rozamiento en gran medida.



https://www.youtube.com/watch?v=NlCOq2xE_Z0

Túnel de viento aerostático.

Cojinete hidrostático

Puede insuflarse lubricante (deslizamiento hidrostático) o aire (aerostático)

OVERCRAFT

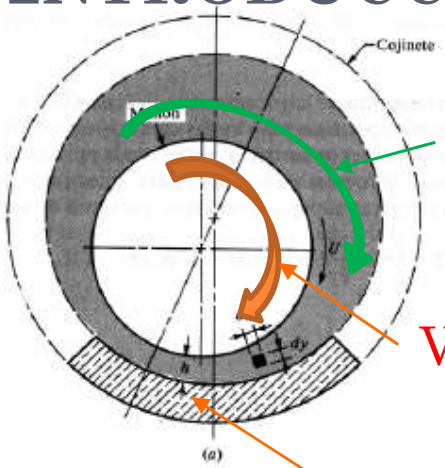
Gran rigidez o precisión de movimiento.

Película con velocidad de giro igual a cero. O sea, parado.

Los cojinetes hidrostáticos por el hecho de que gira el eje tienen efecto hidrodinámico.

COJINETES Y LUBRICACIÓN

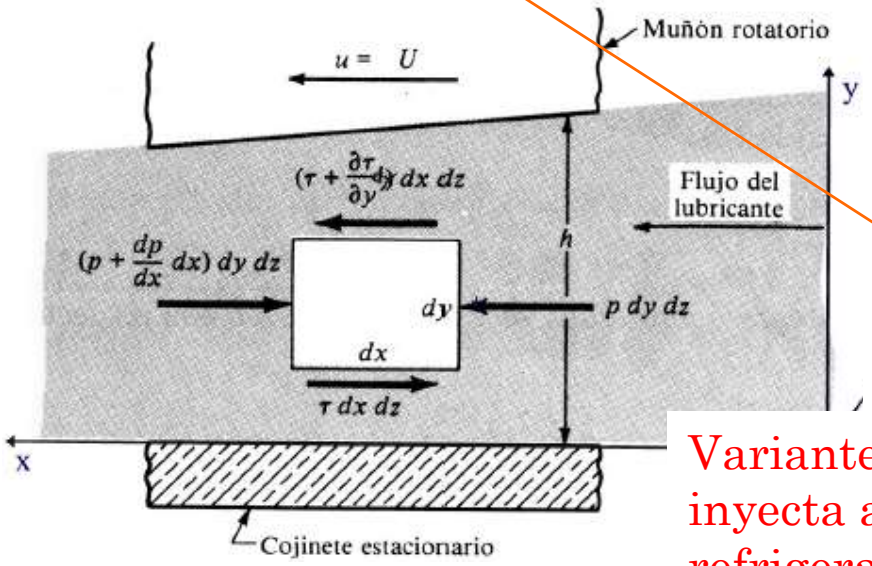
1. INTRODUCCIÓN: COJINETE HIDRODINÁMICO



Arrastre aceite.

Cojinete hidrodinámic

Velocidad Giro



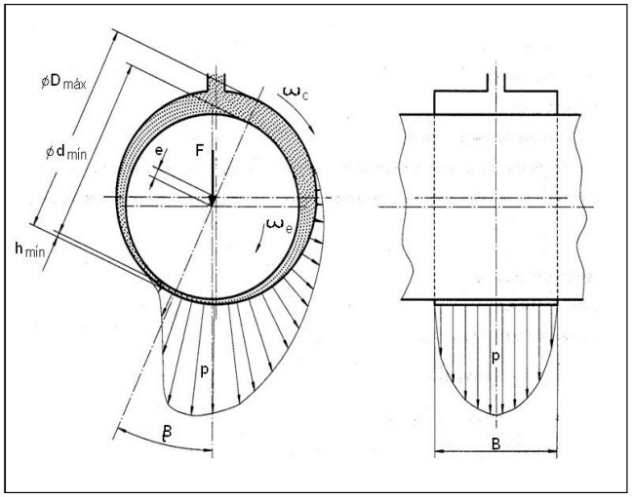
Efecto hidrodinámico permite crear la película de aceite por el propio rozamiento del eje con el aceite que lo arrastra consigo. Cuando llega a una velocidad de giro toda la superficie exterior de giro del eje tiene la película de aceite incluida la parte más conflictiva que es la inferior.

Variante cojinetes hidrodinámicos alimentados a presión . Se inyecta aceite a presión que facilita la creación de la película y la refrigeración.

hidrodinámicos alimentados a presión No se crea película con velocidad de giro igual a cero. Se necesita que el eje gire a una velocidad para que se llegue a crear la película. Pero refrigera más que un hidrodinamico

COJINETES Y LUBRICACIÓN

1. INTRODUCCIÓN: COJINETE HIDRODINÁMICO CALCULO.



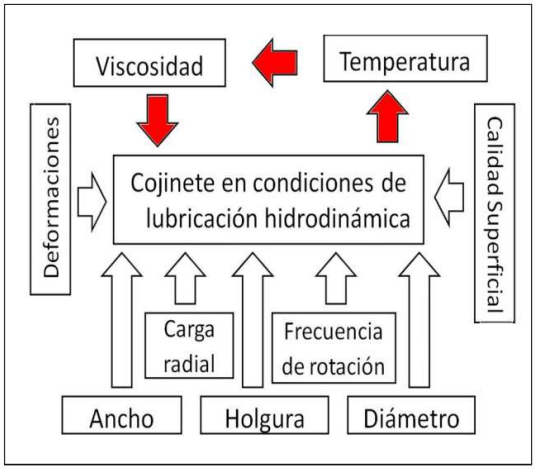


Fig. 1. Variables que definen las condiciones de funcionamiento de cojinetes en lubricación hidrodinámica.

Simulación de cojinetes de deslizamiento en turbogeneradores con empleo de la norma ISO 7902

Alejandra Elena García Toll
Correo electrónico:agarciat@ceim.cujae.edu.cu.
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
David Hernández Moncisbaes
Correo electrónico:dhdaywalker@gmail.cu
Taller 3 del MININT, La Habana, Cuba
Yerisey González Hernández
Correo electrónico:yeriseygon @ctehabana.une.cu
Central Termoeléctrica de La Habana, Cuba

El cálculo del cojinete, consiste en determinar si el elemento bajo el efecto de las cargas radiales y en las condiciones de trabajo, es capaz de formar y mantener una cuña de lubricante, que impida el contacto entre las superficies del árbol y el cojinete. Esto se verifica de la siguiente forma:

$$h_{mín} = 0{,}5 \cdot D \cdot \Psi_{eff} \cdot (1-\varepsilon)$$

$$h_{mín} \geq h_{lím}$$

donde:

ε: Excentricidad relativa ($\varepsilon = 2e/(D_{máx} - d_{min})$).

Ψ_{eff} :Holgura relativa. ($\Psi_{eff} = (D_{máx} - d_{min})/D$).

D: Diámetro nominal del cojinete [m].

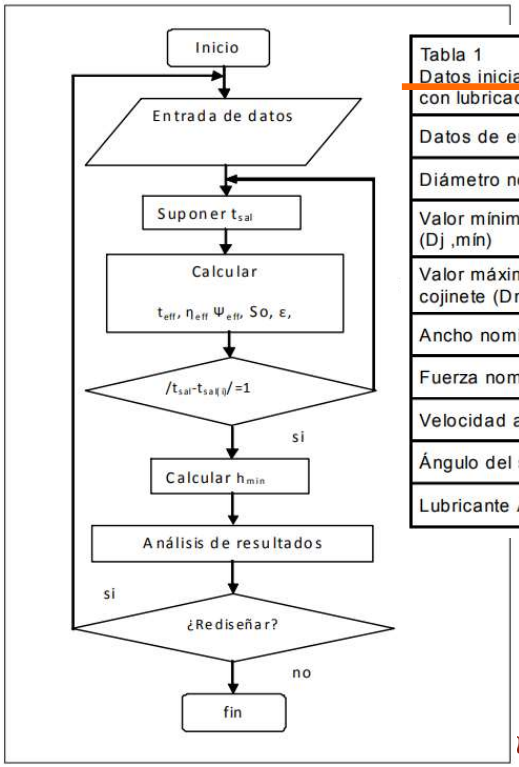


Tabla 1
Datos iniciales para el cálculo del cojinete de deslizamiento con lubricación forzada

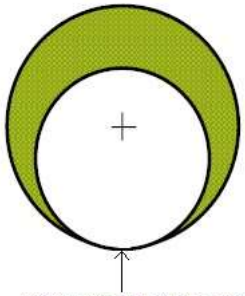
Datos de entrada	Unidad	Valor
Diámetro nominal del eje (D)	m	0,325
Valor mínimo del diámetro del eje (Dj ,mín)	m	0,324 75
Valor máximo del diámetro del cojinete (Dmáx)	m	0,325 25
Ancho nominal del cojinete (B)	m	0,32
Fuerza nominal (F)		
Velocidad angular (		
Ángulo del segmen		
Lubricante Aceite T		

Tabla 2
Relación y variables

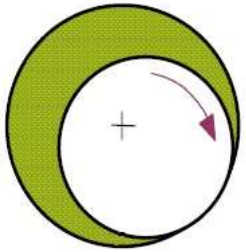
Modelo Matemático	
# Relación	Relación
1	η_{eff}= *función* {0,5(t_{entr} + t_{sal}), aceite}
2	($\Psi_{máx}$ · D) - $D_{máx}$ + d_{min} = 0
3	S_o (D · B · η_{eff} · ω) - (F · $\Psi_{máx}$)^2 = 0
4	ε = *función* { S_o, B/D}
5	f'/ $\Psi_{máx}$ = *función* {ε, B/D}

Tabla 3
Iteraciones en el cálculo del cojinete de deslizamiento con lubricación forzada

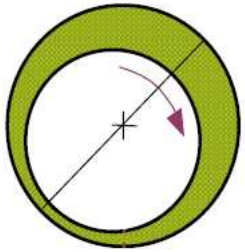
Iteraciones	Unidad	1	2	3	4
t_{en}	° C	43	43	43	43
t_{sal}	° C	63	53,021	48,041	45,554
t_{eff}	° C	53	48,010	45,520	44,277
η_{eff}	Pa s	0,018	0,022	0,025	0,028
			7,69E-04	7,69E-04	7,69E-04
			0,083 9	0,073 8	0,065 9
			0,57	0,56	0,54
			35	38	40
0 0			0,001 8993	0,001 858 7	0,001 838 4
			3,14E-06	2,77E-06	2,46E-06
			1,90E-03	1,86E-03	1,84E-03
73			43,061 327	43,068 050	43,072 434
36			48,041 382	45,554 716	44,313 528
			-	-	0,000 057 5



Lubricación hidrostática, durante el arranque. El aceite se introduce a presión para elevar el rotor



Lubricación limite. La capa de lubricante es muy pequeña. Se produce durante el arranque o parada

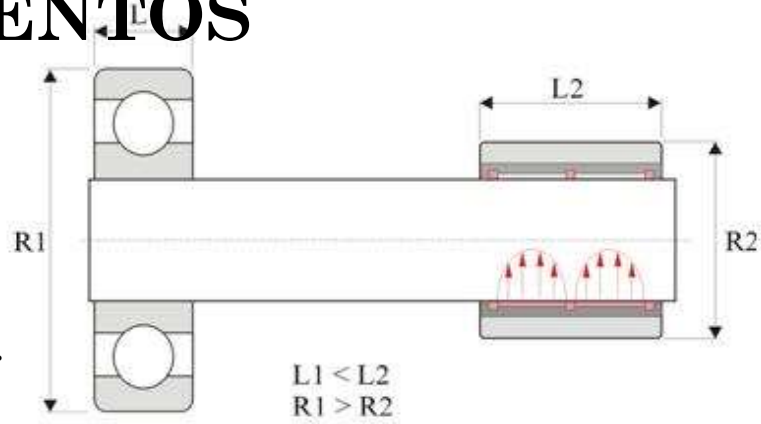


Lubriación hidrodinámica. El lubricante se introduce entre las superficies por el propio movimiento del rotor, que crea un gradiente de presión

NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN

1. INTRODUCCIÓN RODAMIENTOS



- VENTAJAS
  - Bajo par de fricción de arranque
  - Normalizados e intercambiables
  - Fácil mantenimiento, repuesto e inspección.
  - Hay para cargas radiales y axiales
  - Amplia gama de condiciones de trabajo
  - Tamaño axial menor que el de cojinetes
  - Se pueden precargar
- INCONVENIENTES
  - Mayor tamaño radial que los cojinetes
  - Ruidosos
  - Partículas metálicas o suciedad acortan su vida.
  - No se pueden construir partidos
  - Vida finita. Fatiga superficial.
  - Menor capacidad de absorción de choques

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

COJINETES Y LUBRICACIÓN
1. INTRODUCCIÓN

- COMPARACIÓN CUALITATIVA COJINETES

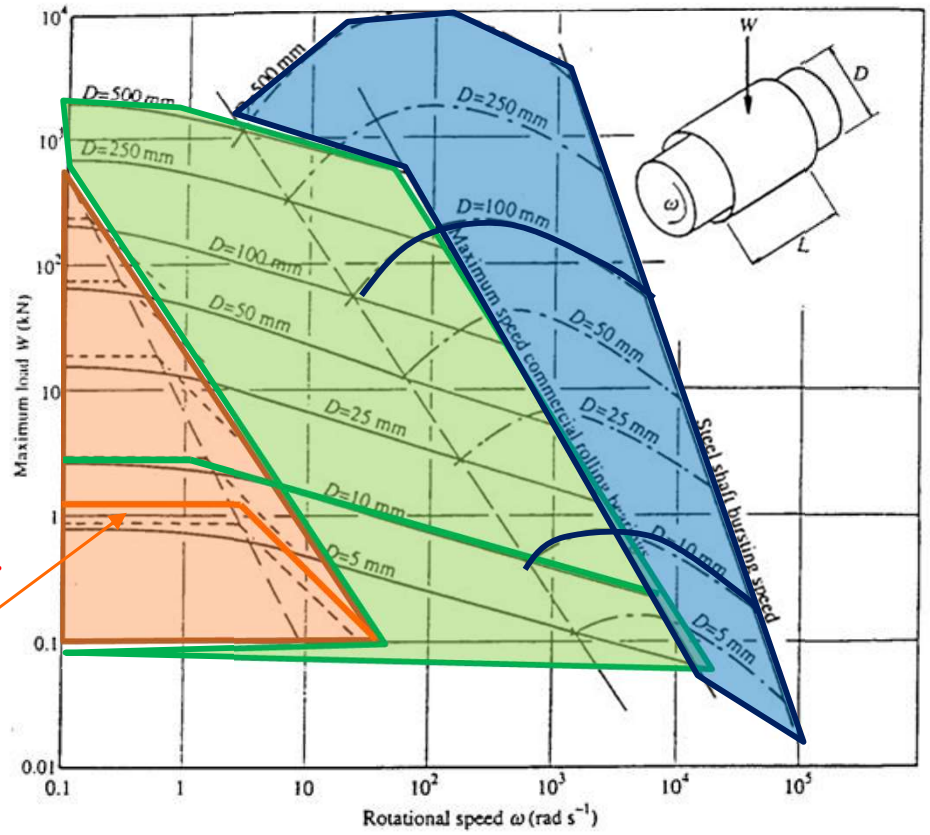
Comparación cualitativa de distintos tipos de cojinetes cilíndricos [1].

	Tipo de cojinete			
	De fricción	Hidrodinámico	Hidrostático	Rodamiento
Precisión de la posición radial	Aceptable	Aceptable	Excelente	Buena
Capacidad de carga axial	Alguna	Ninguna	Ninguna	Alguna
Bajo par de arranque	Bueno	Aceptable	Excelente	Excelente
Prestaciones a altas temperaturas	Limitadas por los materiales	Limitadas por el lubricante	Limitadas por el lubricante	Buena. Limitadas por los materiales
Sistema de lubricación requerido	Simple	Usualmente requiere circulación	Complejo. Sistema de alta presión	Relativamente simple si hay estanqueidad
Tolerancia a la suciedad	Buena si hay estanqueidad	Requiere estanqueidad y filtrado	Estanqueidad y filtrado esenciales	Buena con estanqueidad

COJINETES Y LUBRICACIÓN
1. INTRODUCCIÓN

- COMPARACIÓN CUALITATIVA COJINETES

Carga (KN)



Recomendado coj. Fricción para velocidades bajas parados los rodamientos se pueden dañar.

Velocidad de giro rad/s

Rangos típicos de condiciones de funcionamiento de distintos tipos de cojinetes cilíndricos: cojinetes de fricción (------); cojinetes hidrodinámicos (—·—); rodamientos (———) [1].

Y parte

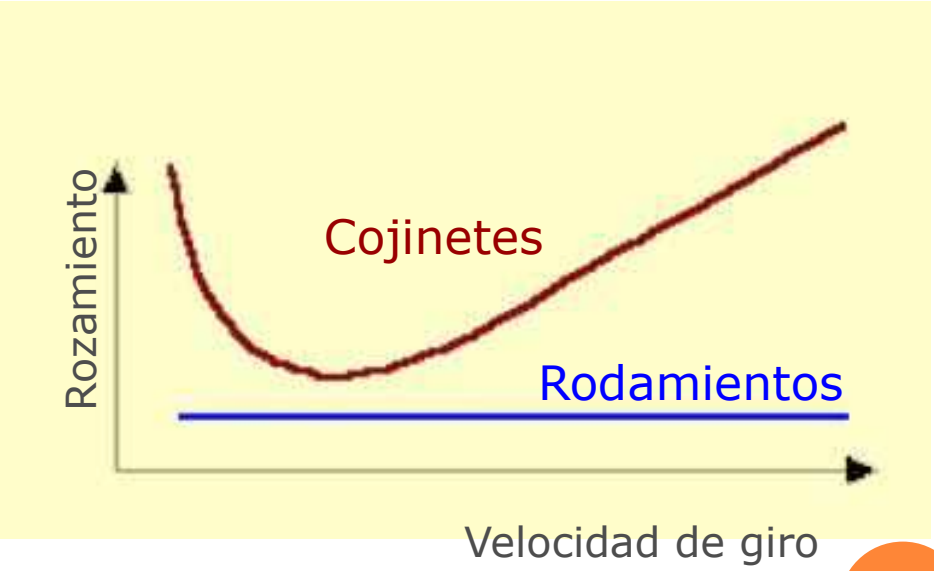
Y

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN
1. INTRODUCCIÓN

- CARACTERÍSTICAS DE LOS RODAMIENTOS
  - El coeficiente de rozamiento casi no varía con la velocidad de giro y la carga.
  - Útil para máquinas que arrancan y paran con frecuencia, sometidas a cargas
  - Ventajas:
    - Requieren poco lubricante
    - Exigen poco mantenimiento
    - Ocupan poco espacio axial
  - Inconvenientes:
    - Poco silenciosos
    - Duración limitada
    - Caros



COJINETES Y LUBRICACIÓN
2. COMPOSICIÓN Y NOMENCLATURA

Radial

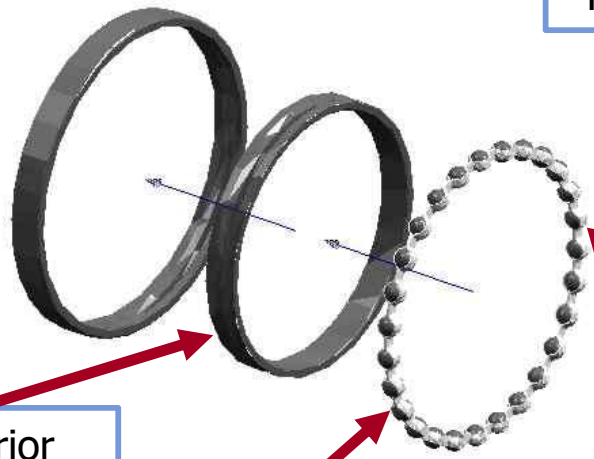
Axial

Agujas

Anillo o Aro exterior

Pista Exterior

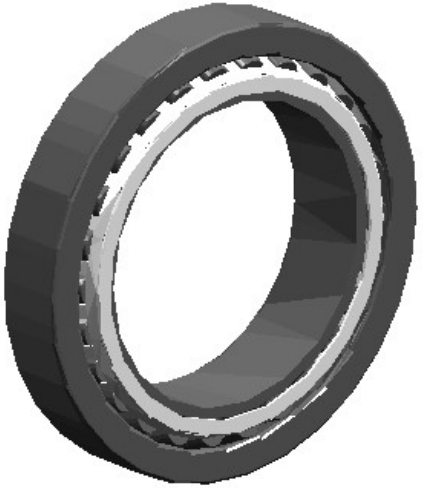
Elementos Rodantes



Bolas

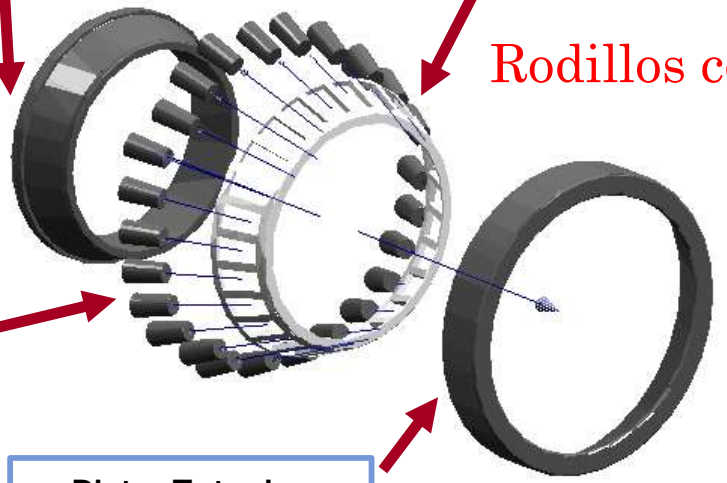
Pista Interior

Jaula, separador



Anillo o Aro interior

Rodillos cónicos



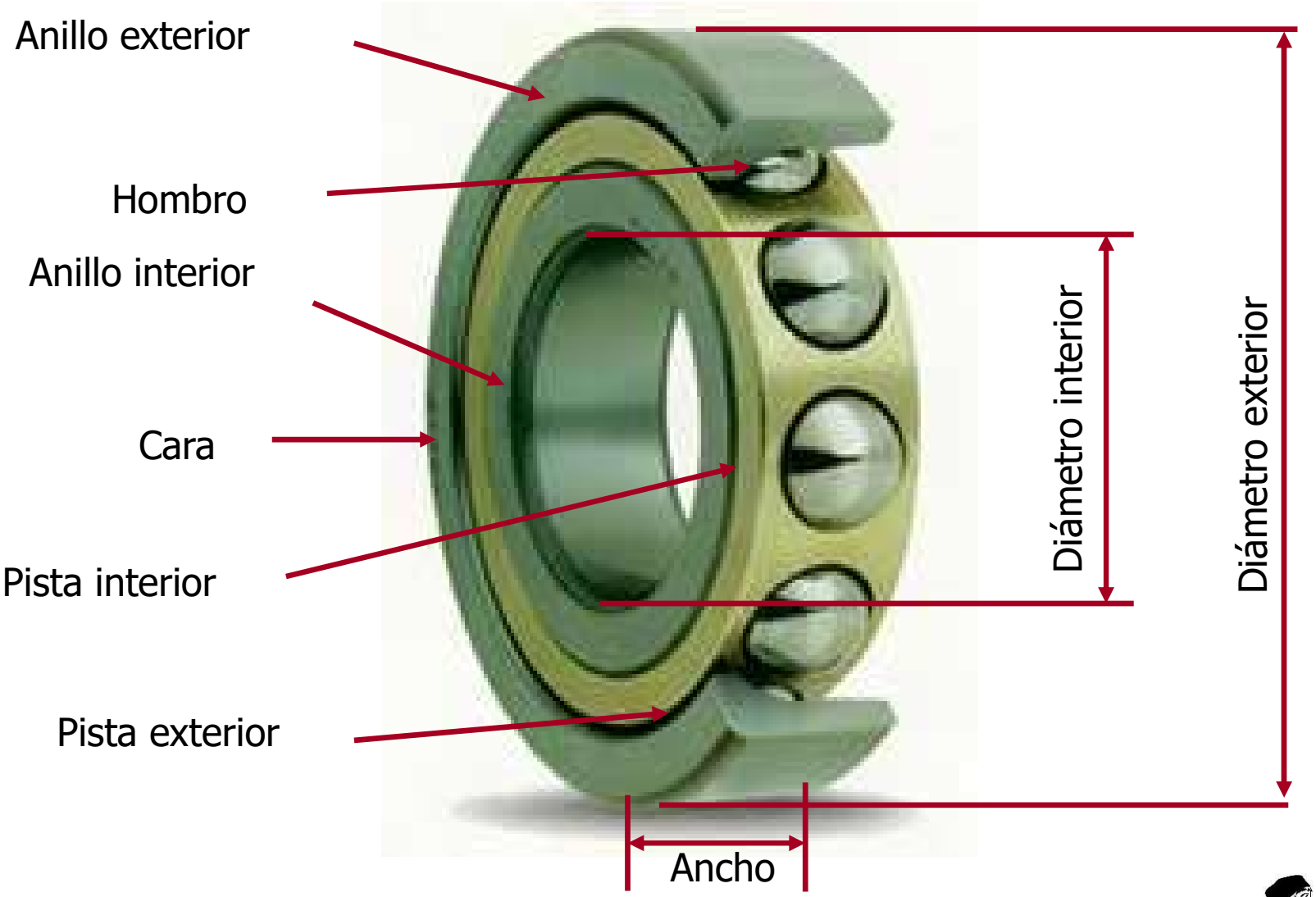
Elementos Rodantes

Pista Exterior

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN
2. COMPOSICIÓN Y NOMENCLATURA

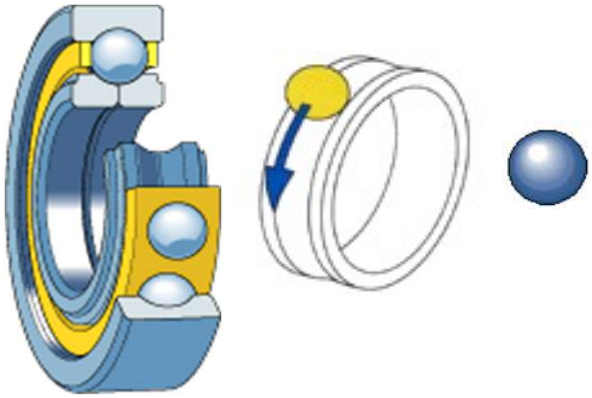


COJINETES Y LUBRICACIÓN
3. CLASIFICACIÓN DE RODAMIENTOS

Según elemento Rodante

De bolas

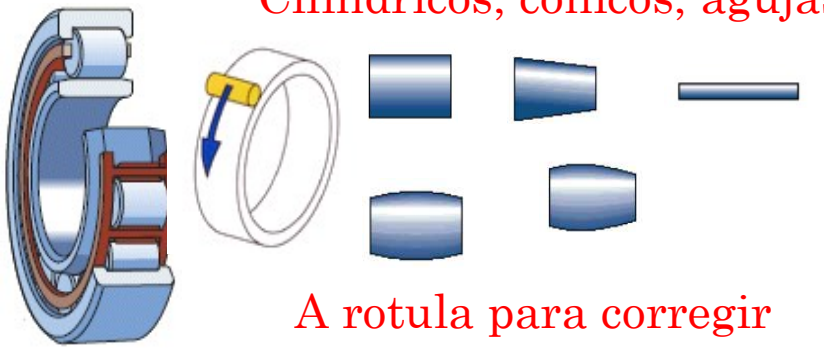
Contacto puntual



De rodillos

Contacto lineal

Cilíndricos, cónicos, agujas

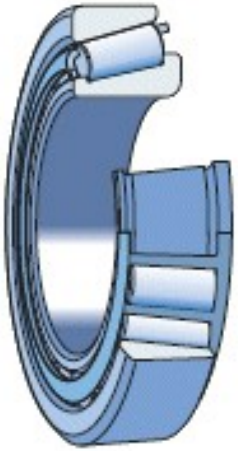


A rotula para corregir desalineación.

Según elemento Soporte

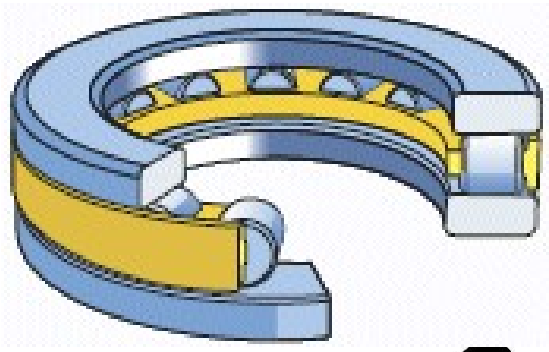
De anillos

Carga principalmente radial y axial



De Discos

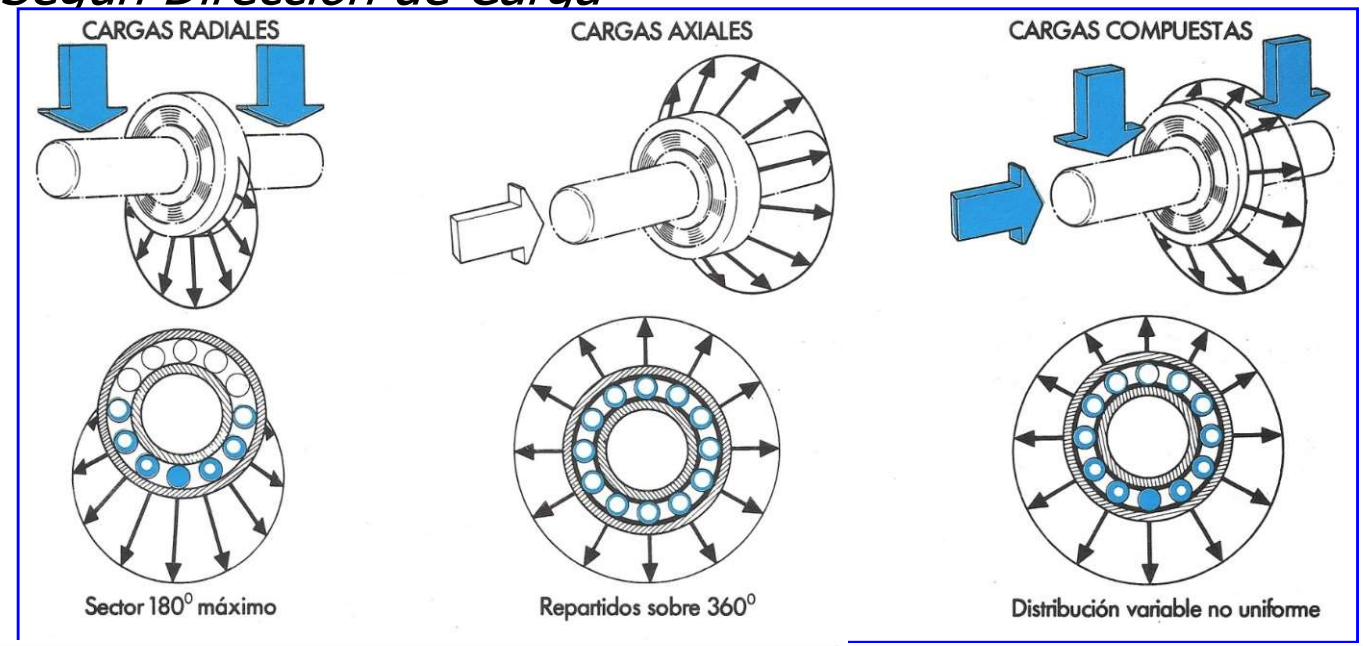
Carga axial

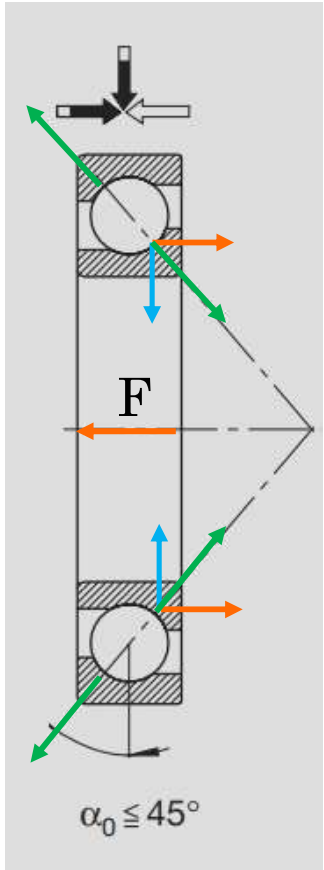


COJINETES Y LUBRICACIÓN

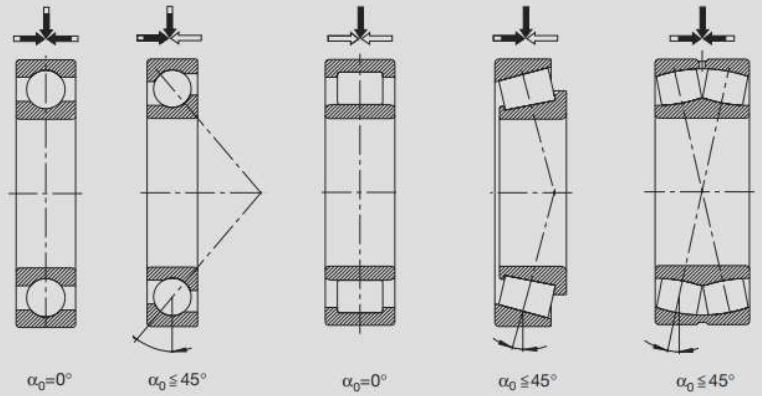
3. CLASIFICACIÓN DE RODAMIENTOS

Según Dirección de Carga

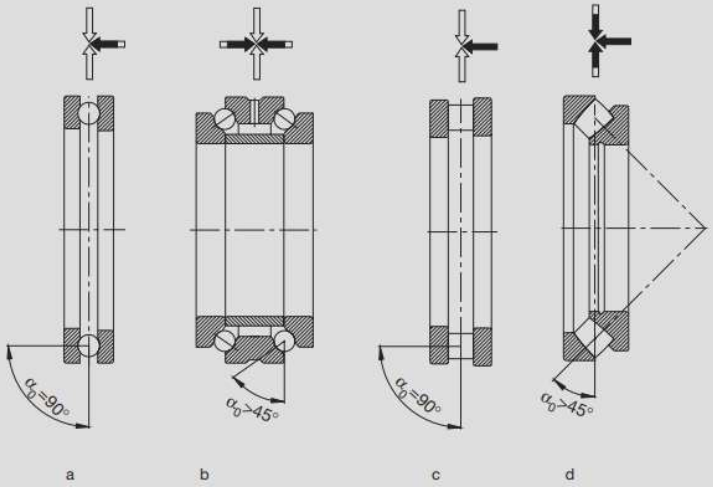




▼ Rodamientos radiales con un ángulo de contacto nominal $\alpha_0 \leq 45°$ principalmente para cargas radiales a = rodamiento rígido de bolas, b = rodamiento de bolas de contacto angular, c = rodamiento de rodillos cilíndricos NU, d = rodamiento de rodillos cónicos, e = rodamiento oscilante de rodillos



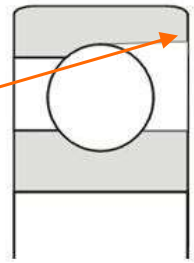
▼ Rodamientos axiales con un ángulo de contacto nominal de $\alpha_0 > 45°$ principalmente para cargas axiales a= rodamiento axial de bolas, b = rodamiento axial de bolas de contacto angular, c = rodamiento axial de rodillos cilíndricos, d = rodamiento axial oscilante de rodillos.



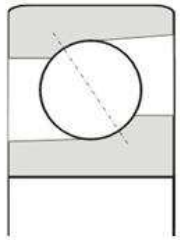
COJINETES Y LUBRICACIÓN
3. CLASIFICACIÓN DE RODAMIENTOS

Según Aplicación / Forma

De Magneto

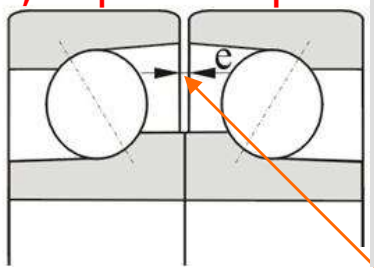


- Ranura menos profunda que rígidos de bolas
- Anillo ext. con soporte a un sólo lado ⇒ Se puede quitar (montaje)
- Generalmente, por parejas.
- Pequeños. Uso en giróscopos, instrumental, aparatos domesticos...

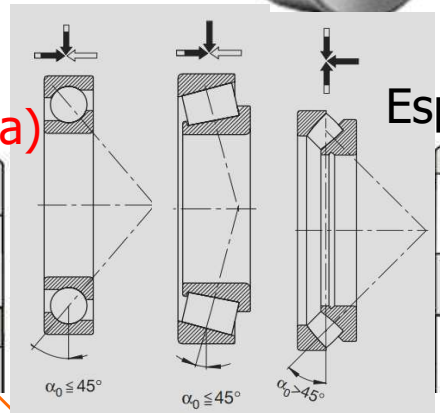


De Contacto Angular

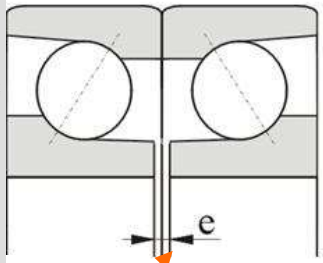
- Cargas radiales y axiales (←)
- 3 ángulos de contacto: 15º, 30º y 40º
- Para alta velocidad ángulos pequeños
- Se pueden usar por parejas (cara-cara, espalda-espalda)
- Parejas ⇒ ajuste de juego



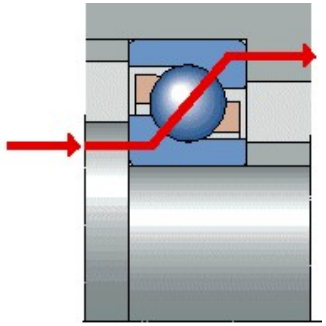
Cara-cara



Espalda-espalda



Holgura aro exterior
Holgura aro interior



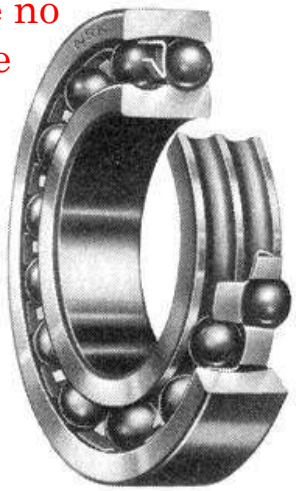
UNIVERSIDAD EBRIJA

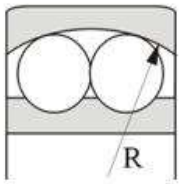
COJINETES Y LUBRICACIÓN

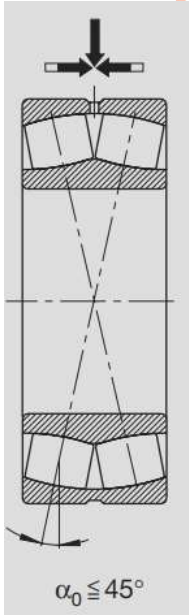
3. CLASIFICACIÓN DE RODAMIENTOS

Según Aplicación / Forma

Los rodamientos que no son autoalineables se denominan rígidos.







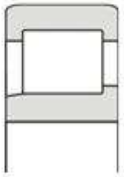
De Autoalineación

- Anillo interior: 2 pistas
- Anillo exterior: 1 superf. esférica
- Admiten desalineamientos angulares

Ejes largos.
Soportes distintos.

De Rodillos Cilíndricos (Alta Carga)

- Contacto lineal
- Rodillos con abombamiento en extremo
- Alta capacidad carga radial
- Altas velocidades
- Cierta movilidad axial. Nervaduras
- Doble hilera ⇒ alta rigidez radial ⇒ precisión

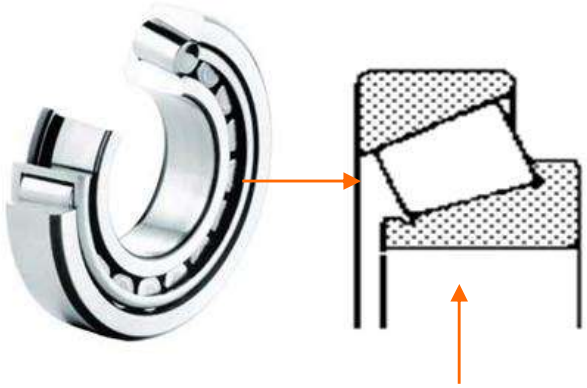


Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

COJINETES Y LUBRICACIÓN

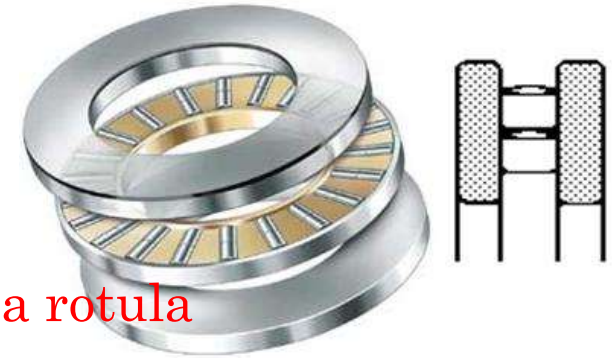
3. CLASIFICACIÓN DE RODAMIENTOS

Según Aplicación / Forma

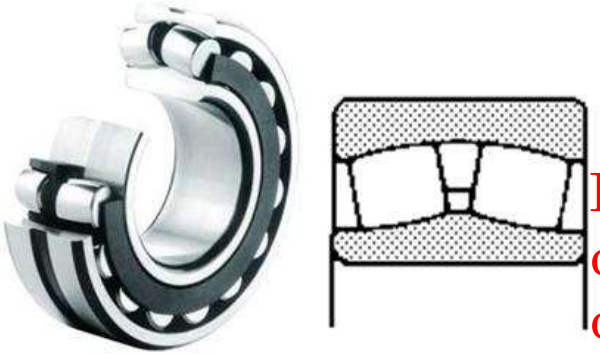


Rodillos Cónico. Radial y axial

Axial bolas

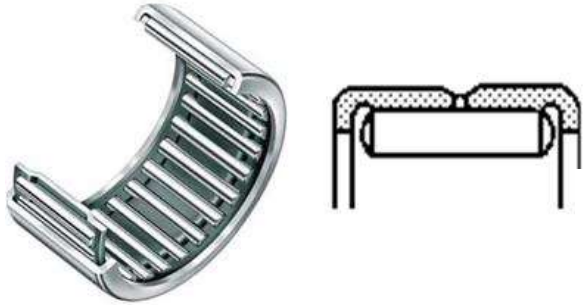


Axial agujas



Rodillos a rotula dos hileras desalineación

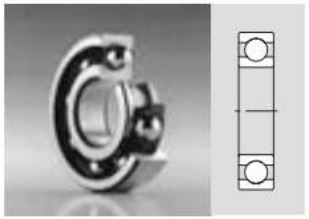
Axial rodillos cónicos Axial y algo radial.

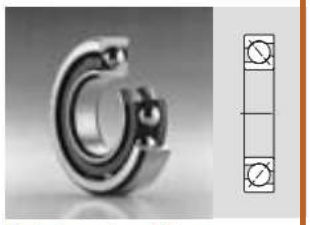


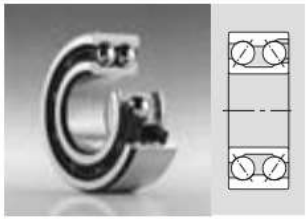
Agujas.
Poco espacio y elevada capacidad de carga. No tiene anillo interior en este caso endurecer el eje.

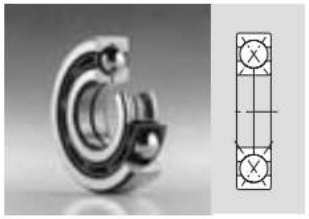
COJINETES Y LUBRICACIÓN
3. CLASIFICACIÓN DE RODAMIENTOS

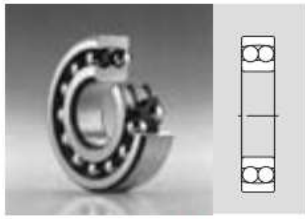
▼ Rodamientos de bolas

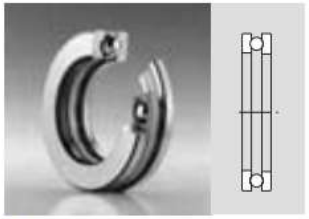

Rodamiento rígido de bolas

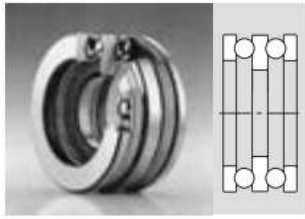

Rodamiento de una hilera bolas de contacto angular,

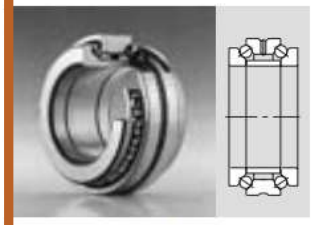

Rodamiento de bolas de contacto angular de doble hilera


Rodamiento con cuatro caminos de rodadura

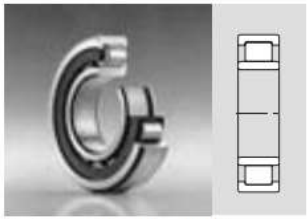

Rodamiento oscilante de bolas

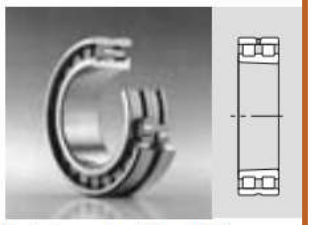

Rodamiento axial de bolas, de simple efecto

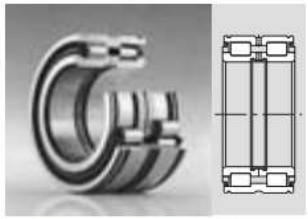

Rodamiento axial de bolas, de doble efecto

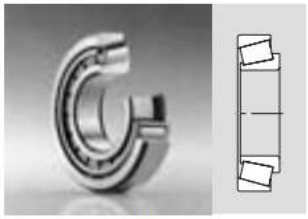

Rodamiento axial de bolas de contacto angular, de doble efecto

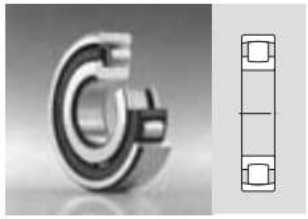
▼ Rodamientos de rodillos

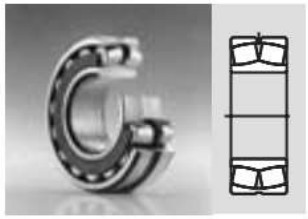

Rodamiento de rodillos cilíndricos, de una hilera

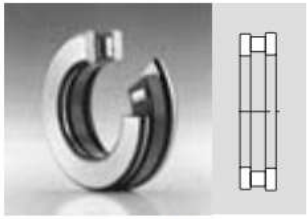

Rodamiento de rodillos cilíndricos, de doble hilera

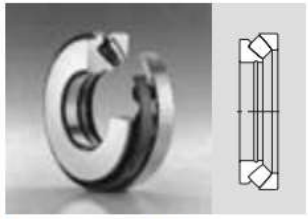

Rodamiento de rodillos cilíndricos, lleno de rodillos

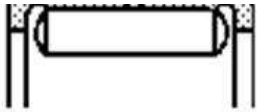

Rodamiento de rodillos cónicos


Rodamiento oscilante de rodillos, de una hilera


Rodamiento oscilante tipo E


Rodamiento axial de rodillos cilíndricos


Rodamiento axial oscilante de rodillos



Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

CO JINETES Y LUBRICACIÓN

Aptitud
- ● muy buena
- ◕ buena
- ◑ normal / aceptable
- ◔ limitada
- ○ no adecuada / no aplicable

Características:

Tipo de rodamiento	Carga radial	Carga axial en ambas direcciones	Compensación longitudinal en el rodamiento	Compensación longitudinal con ajuste deslizante	Rodamientos desplazables	Compensación de desalineaciones	Elevada precisión	Aptitud para elevadas velocidades	Funcionamiento silencioso	Agujero cónico	Obturación a uno o ambos lados	Elevada rigidez	Bajo rozamiento	Rodamientos fijos	Rodamientos libres
Rodamientos rígidos de bolas	◕	◑	○	◑	○	◔	◑	●	●	○	◕	◑	●	◕	◑
Rodamientos de bolas de contacto angular	◕	◕ ←	○	◑ a	○	○	◑	● c	◕	○	○	◕ a	◕	● a	◑ a
Rodamientos de bolas de contacto angular, de doble hilera	◕	◕	○	◑	◑	○	◑	◑	◔	○	◕	◕	◑	◕	◑
Rodamientos para husillos	◕	◕ ←	○	◑ a	○	○	●	● c	●	○	○	◕ a	●	● a	◑ a
Rodamientos con cuatro caminos de rodadura	◔	◕	○	○	◑	○	◔	◔	◔	○	○	◑	◕ e	◕	○
Rodamientos oscilantes de bolas	◕	◔	○	◑	○	●	○	◕	◔	● d	◕	◔	●	◑	◑
Rodamientos de rodillos cilíndricos NU, N	●	○	●	○	●	◔	◕	●	◑	◑	○	◕	◕ f	○	●
NJ	●	◑ ←	◔	○	●	◔	◑	◕ b	◔	○	○	◕	◕ b	◑	◑
NUP, NJ + HJ	●	◑	○	◑	●	◔	◑	◕ b	◔	○	○	◕	◕ b	◕	◔
NN	●	○	●	○	●	○	●	●	◑	●	○	●	●	○	●
NCF, NJ23VH	●	◑ ←	◔	◑	◑	◔	○	○	○	○	○	●	○	◑	◑
NNC, NNF	●	◑	○	◑	○	○	○	○	○	○	◕	●	○	◑	◑

← Rodamientos individuales y rodamientos en tandem en un sentido a) para montaje por parejas b) para baja carga axial c) aptitud limitada para montaje por parejas d) también con manguitos de montaje o desmontaje e) solo carga axial f) muy bien en series estrechas

CO INETES Y LUBRICACIÓN

● Aptitud muy buena
◕ buena
◑ normal / aceptable
◔ limitada
○ no adecuada / no aplicable

Tipo de rodamiento	Carga radial	Carga axial en ambas direcciones	Compensación longitudinal en del rodamiento	Compensación longitudinal con ajuste deslizante		Rodamientos despiezables	Compensación de desalineaciones	Elevada precisión	Aptitud para elevadas velocidades	Funcionamiento silencioso	Agujero cónico	Obturación a uno o ambos lados	Elevada rigidez	Bajo rozamiento	Rodamientos fijos	Rodamientos libres
Rodamientos de rodillos cónicos	●	● ←	○	◑ a		●	◔	◕	◑ c	◔	○	○	● a	◕	● a	◔ a
Rodamientos oscilantes de rodillos, de una hilera	●	◑	○	◑		○	●	○	◑	◔	● d	○	◕	◑	◕	◑
Rodamientos oscilantes de rodillos	●	◕	○	◑		○	●	○	◑	◔	● d	◑	◕	◕	◕	◑
Rodamientos axiales de bolas	○	◕ ←	○	○		●	◑ g	◕	◑	◔	○	○	◑	◕	◑	○
	○	◕	○	○		●	◑ g	○	◔	○	○	○	◑	◔	◑	○
Rodamientos axiales de bolas de contacto angular	◔	◕ ←	○	○		○	◔	●	◕ c	◔	○	○	◕ a	◑	● a	○
	○	◕	○	○		●	○	●	●	◔	○	○	●	◑	●	○
Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos	○	● ←	○	○		●	○	◑	◔	○	○	○	◕	○	◕	○
Rodamientos axiales oscilantes de rodillos	◔	● ←	○	○		●	●	○	◔	○	○	○	◕	○	◕	○
Rodamientos con anillo de sujeción	◕	◑	◔	◔		○	◑ g	○	◔	○	○	●	◑	○	◑	○

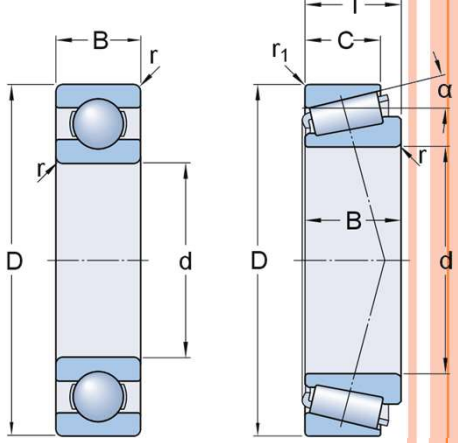
← Rodamientos individuales y rodamientos en tandem en un sentido

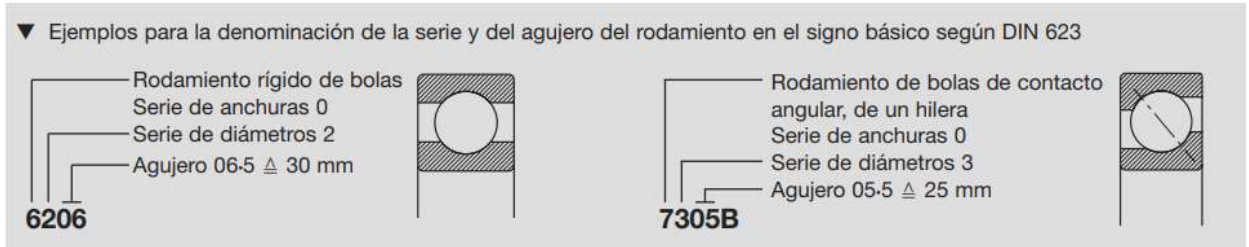
a) para montaje por parejas
c) limitada aptitud para montaje por parejas
d) también con manguitos de montaje o desmontaje
g) rodamientos con anillos de sujeción y axiales de bolas con contraplaca compensan desalineaciones durante el montaje

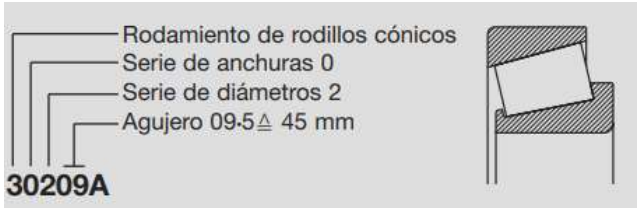
COJINETES Y LUBRICACIÓN

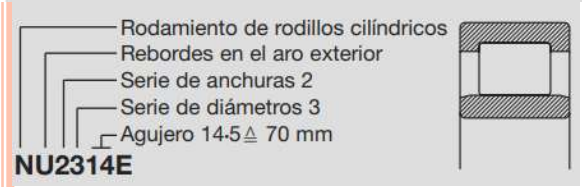
4. NORMAS INTERNACIONALES

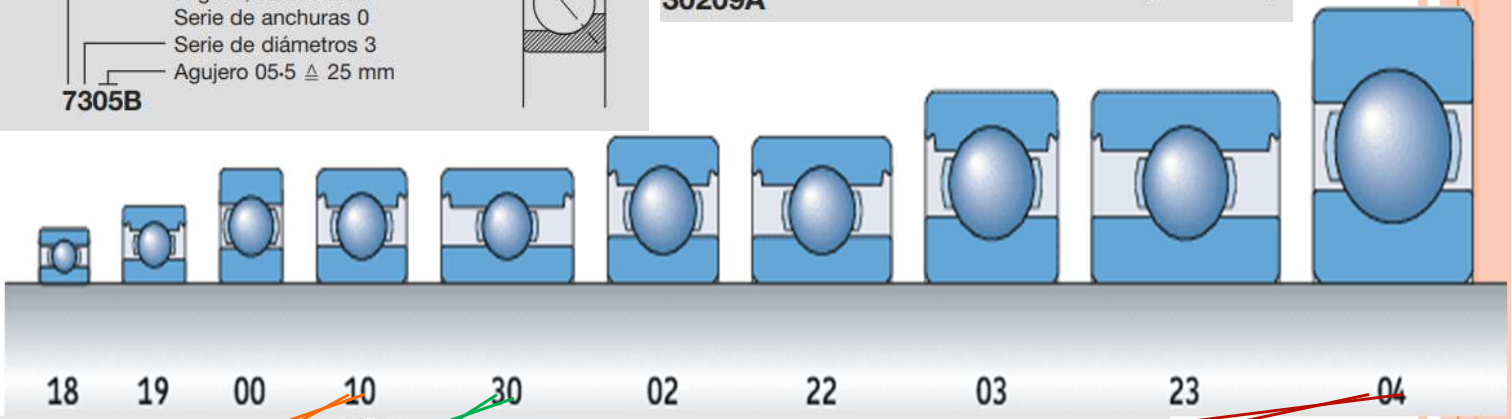
- DIMENSIONES
  - Las series dimensionales de los rodamientos siguen las Normas:
  - ISO 15:1998: Rod. Métricos radiales excepto cónicos
  - ISO 355:1977: Rod. Métricos de rodillos cónicos
  - ISO 104:2002: Rod. Métricos axiales

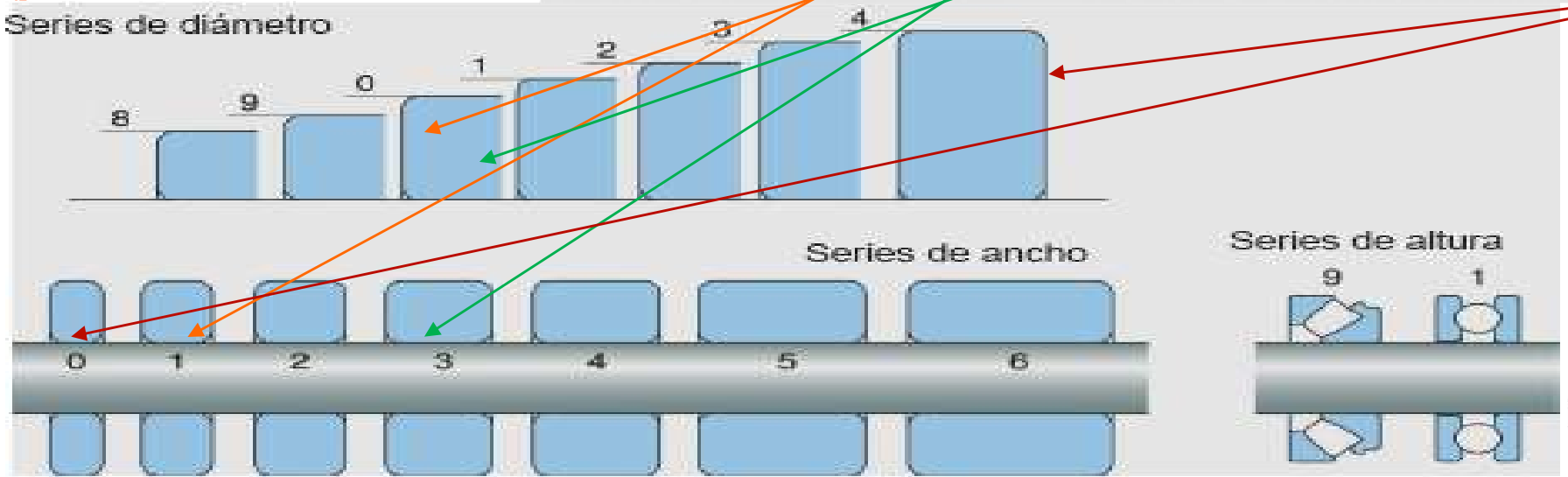












UNIVERSIDAD NEBRIJA

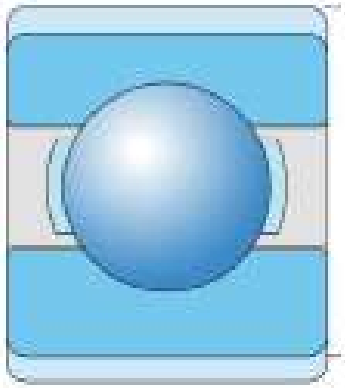
COJINETES Y LUBRICACIÓN

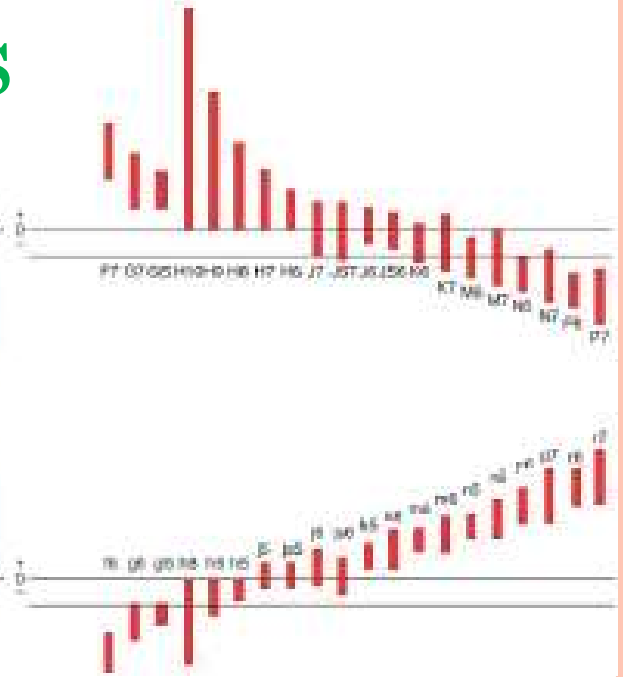
4. NORMAS INTERNACIONALES

- AJUSTES

  Tolerancias dimensionales.

  - Posiciones y rangos para ajustes en ejes y alojamientos según:
  - ISO 286-2:1988





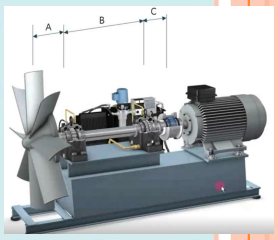
- La posición respecto a la medida nominal es indicada por una letra Mayúscula para diámetros interiores (alojamientos, agujero) y minúscula para diámetros exteriores (ejes)
- Incrementa la interferencia (apriete) cuando se avanza con el alfabeto
- El dígito indicado después de la letra indica el rango de tolerancia.

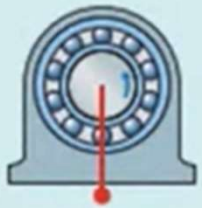
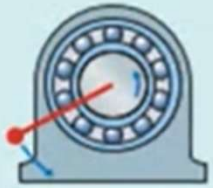
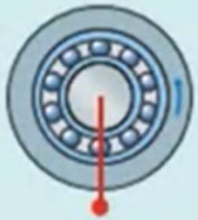
COJINETES Y LUBRICACIÓN

4. NORMAS INTERNACIONALES

Se realizará un ajuste por apriete. Interesa que sea solidario el aro (ya sea, interior o exterior) con la estructura (ya sea eje o alojamiento) que pudiese tener problemas de deslizamiento por el tipo de carga existente. O sea, se aprieta el aro que tiene un movimiento relativo con respecto a la dirección de la carga.

Condiciones de giro



Condiciones de funcionamiento	Ilustración esquemática	Condición de carga	Ajustes recomendados
		Ventilador	
Aro interior giratorio Aro exterior fijo Dirección de carga constante		Carga giratoria sobre el aro interior Carga fija sobre el aro exterior	Ajuste de interferencia para el aro interior Ajuste flojo para el aro exterior (posible)
Aro interior giratorio Aro exterior fijo Carga que gira con el aro interior		Carga fija sobre el aro interior Carga giratoria sobre el aro exterior	Ajuste flojo para el aro interior (posible) Ajuste de interferencia para el aro exterior
		Polea, gancho grúa	
Aro interior fijo Aro exterior giratorio Dirección de carga constante		Carga fija sobre el aro interior Carga giratoria sobre el aro exterior	Ajuste flojo para el aro interior (posible) Ajuste de interferencia para el aro exterior
Aro interior fijo Aro exterior giratorio Carga que gira con el aro exterior		Carga giratoria sobre el aro interior Carga fija sobre el aro exterior	Ajuste de interferencia para el aro interior Ajuste flojo para el aro exterior (posible)

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

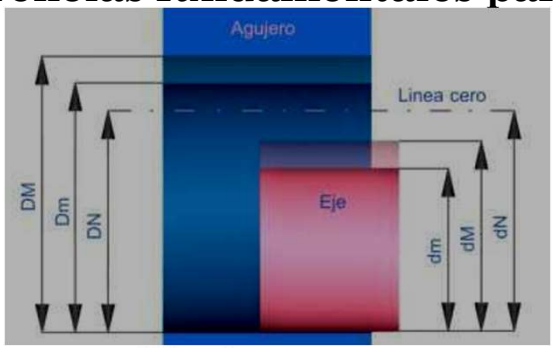
- Estructura del sistema de tolerancias ISO. Las magnitudes de las tolerancias se hacen depender para un mismo grupo de medidas nominales de una escala con 18 escalones denominada calidad IT y designada por los números 01, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16. Los valores de las tolerancias IT son función de la magnitud de los diámetros. El IT la calidad.
- De esta forma la designación de una tolerancia se realiza con letras y números, correspondiendo las letras a la posición de la tolerancia y su magnitud por las cifras IT, ejemplo 40 H7 límites 40,000 y 40,025.

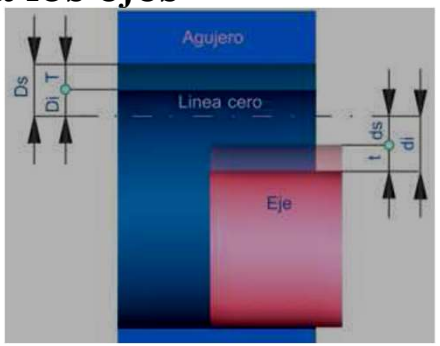
Grupos de diámetros (mm)	CALIDADES																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
d ≤ 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3 < d ≤ 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6 < d ≤ 10	0,4	0,6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

Ultraprecisión	Calibre y piezas de gran precisión	Piezas o elementos destinados a ajustar	Piezas o elementos que no han de ajustar

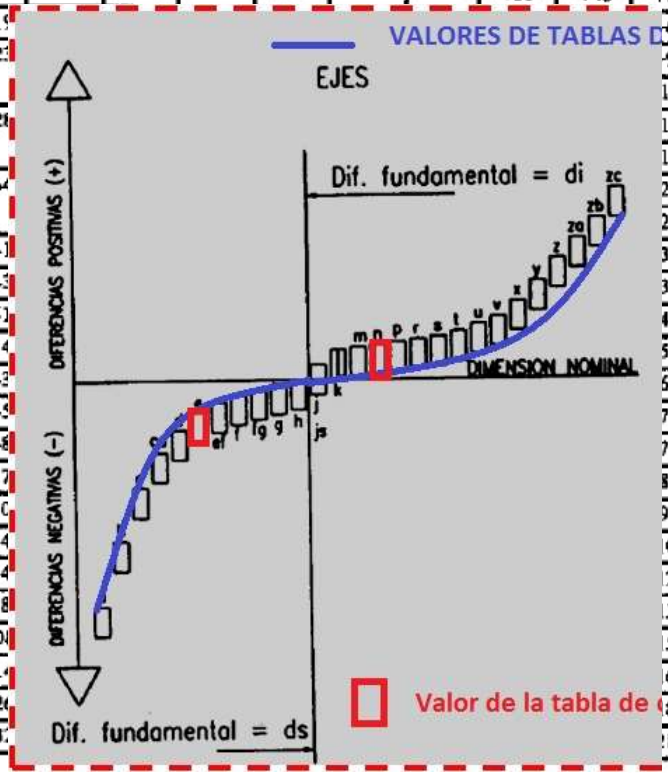
TOLERANCIAS DIMENSIONALES

- **Diferencias fundamentales para los ejes**





Posición	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	j			k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
Calidad												5 y 6	7	8	4 < d ≤ 7	<4 y >7	Todas las calidades													
Diferencia fundamental	Diferencia superior ds											Diferencia inferior di																		
d ≤ 3	−270	−140	−60	−34	−20	−14	−10	−6	−4	−2	0	−2	−4	−6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14	–	+18	–	+20	–	+26	+32	+40	+60
3 < d ≤ 6	−270	−140	−70	−46	−30	−20	−14	−10	−6	−4	0	−2	−4	–	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19	–	+23	–	+28	–	+35	+42	+50	+80
6 < d ≤ 10	−280	−150	−80	−56	−40	−25	−18	−13	−8	−5	0	−2	−5	–	+1	0	+6	+10	+15	+19									67	+97
10 < d ≤ 14	−290	−150	−95	–	−50	−32	–	−16	–	−6	0	−3	−6	–	+1	0	+7	+12	+18	+23									90	+130
14 < d ≤ 18																													108	+150
18 < d ≤ 24	−300	−160	−110	–	−65	−40	–	−20	–	−7	0	−4	−8	–	+2	0	+8	+15	+22	+28									136	+188
24 < d ≤ 30																													160	+218
30 < d ≤ 40	−310	−170	−120	–	−80	−50	–	−25	–	−9	0	−5	−10	–	+2	0	+9	+17	+26	+34									200	+274
40 < d ≤ 50	−320	−180	−130																										242	+325
50 < d ≤ 65	−340	−190	−140	–	−100	−60	–	−30	–	−10	0	−7	−12	–	+2	0	+11	+20	+32	+41									300	+405
65 < d ≤ 80	−360	−200	−150																	+43									360	+480
80 < d ≤ 100	−380	−220	−170	–	−120	−72	–	−36	–	−12	0	−9	−15	–	+3	0	+13	+23	+37	+51									445	+585
100 < d ≤ 120	−410	−240	−180																	+54									525	+690
120 < d ≤ 140	−460	−260	−200	–	−145	−85	–	−43	–	−14	0	−11	−18	–	+3	0	+15	+27	+43	+63									620	+800
140 < d ≤ 160	−520	−280	−210																	+65									700	+900
160 < d ≤ 180	−580	−310	−230																	+68									780	+1000
180 < d ≤ 200	−660	−340	−240	–	−170	−100	–	−50	–	−15	0	−13	−21	–	+4	0	+17	+31	+50	+77									880	+1150
200 < d ≤ 225	−740	−380	−260																	+80									960	+1250
225 < d ≤ 250	−820	−420	−280																	+84									050	+1350
250 < d ≤ 280	−920	−460	−300	–	−190	−110	–	−56	–	−17	0	−16	−26	–	+4	0	+20	+34	+56	+94									200	+1550
280 < d ≤ 315	−1050	−540	−330																	+98									300	+1700
315 < d ≤ 355	−1200	−600	−360	–	−210	−125	–	−62	–	−18	0	−18	−28	–	+4	0	+21	+37	+62	+10									500	+1900
355 < d ≤ 400	−1350	−680	−400																	+11									650	+2100
400 < d ≤ 450	−1500	−760	−440	–	−230	−135	–	−68	–	−20	0	−20	−32	–	+5	0	+23	+40	+68	+12									850	+2400
450 < d ≤ 500	−1650	−840	−480																	+13									100	+2600

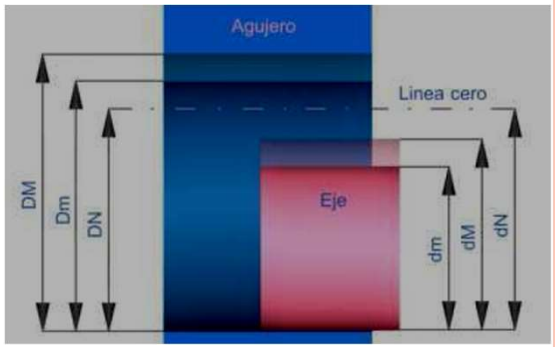


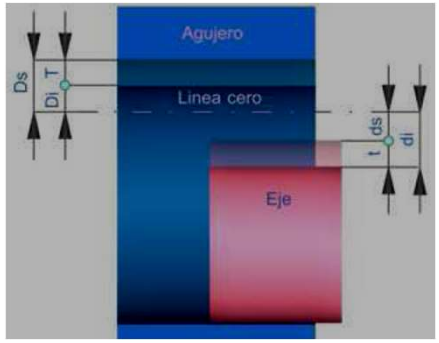
Para la posición js, di = – IT/2 y ds = IT/2

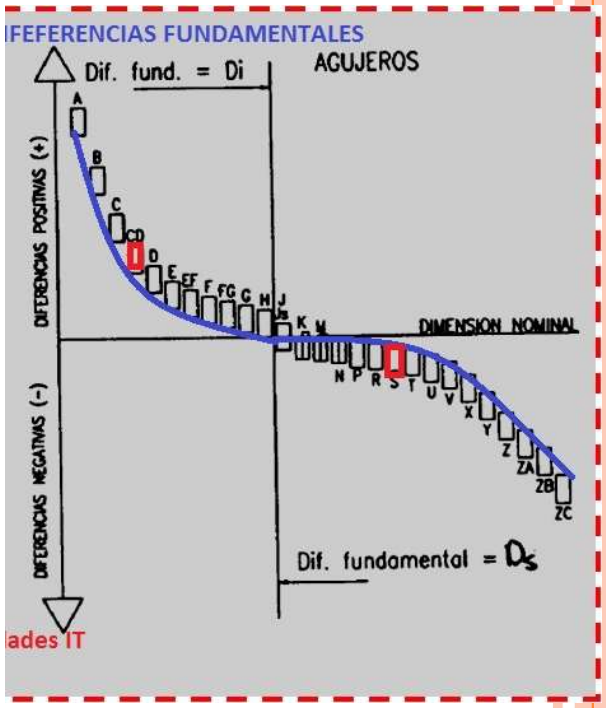
TOLERANCIAS DIMENSIONALES

- **Diferencias fundamentales para los huecos**

Posición	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js
Calidad	Todas las calidades											
Diámetro	Diferencia inferior Di											
d ≤3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	
3< d ≤6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0	
6< d ≤10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0	
10< d ≤18	+290	+150	+95	–	+50	+32	–	+16	–	+6	0	
18< d ≤30	+300	+160	+110	–	+65	+40	–	+20	–	+7	0	
30< d ≤40	+310	+170	+120	–	+80	+50	–	+25	–	+9	0	
40< d ≤50	+320	+180	+130									
50< d ≤65	+340	+190	+140	–	+100	+60	–	+30	–	+10	0	
65< d ≤80	+360	+200	+150									
80< d ≤100	+380	+220	+170	–	+120	+72	–	+36	–	+12	0	
100< d ≤120	+410	+240	+180									
120< d ≤140	+460	+260	+200									
140< d ≤160	+520	+280	+210	–	+145	+85	–	+43	–	+14	0	–IT/2
160< d ≤180	+580	+310	+230									
180< d ≤200	+660	+340	+240									
200< d ≤225	+740	+380	+260	–	+170	+100	–	+50	–	+15	0	
225< d ≤250	+820	+420	+280									
250< d ≤280	+920	+480	+300	–	+190	+110	–	+56	–	+17	0	
280< d ≤315	+1050	+540	+330									
315< d ≤335	+1200	+600	+360	–	+210	+125	–	+62	–	+18	0	
335< d ≤400	+1350	+680	+400									
400< d ≤450	+1500	+760	+440	–	+230	+135	–	+68	–	+20	0	
450< d ≤500	+1650	+840	+480									







TOLERANCIAS DIMENSIONALES

- **Diferencias fundamentales para los huecos**

Posición	J			K				M					N					P			
Calidad	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	≥9	5	6	7	8	≥9	5	6	7	≥8
Diámetro	Diferencia superior Ds																				
d ≤3	+2	+4	+6	0	0	0	0	−2	−2	−2	−2	−2	−4	−4	−4	−4	−4	−6	−6	−6	−6
3< d ≤6	+5	+6	+10	0	+2	+3	+5	−3	−1	0	+2	−4	−7	−5	−4	−2	0	−11	−9	−8	−12
6< d ≤10	+5	+8	+12	+1	+2	+5	+6	−4	−3	0	+1	−6	−8	−7	−4	−3	0	−13	−12	−9	−15
10< d ≤18	+6	+10	+15	+2	+2	+6	+8	−4	−4	0	+2	−7	−9	−9	−5	−3	0	−15	−15	−11	−18
18< d ≤30	+8	+12	+20	+1	+2	+6	+10	−5	−4	0	+4	−8	−12	−11	−7	−3	0	−19	−18	−14	−22
30< d ≤40	+10	+14	+24	+2	+3	+7	+12	−5	−4	0	+5	−9	−13	−12	−8	−3	0	−22	−21	−17	−26
40< d ≤50																					
50< d ≤65	+13	+18	+28	+3	+4	+9	+14	−6	−5	0	+5	−11	−15	−14	−9	−4	0	−27	−26	−21	−32
65< d ≤80																					
80< d ≤100	+16	+22	+34	+2	+4	+10	+16	−8	−6	0	+6	−13	−18	−16	−10	−4	0	−32	−30	−24	−37
100< d ≤120																					
120< d ≤140																					
140< d ≤160	+18	+26	+41	+3	+4	+12	+20	−9	−8	0	+8	−15	−21	−20	−12	−4	0	−37	−36	−28	−43
160< d ≤180																					
180< d ≤200																					
200< d ≤225	+22	+30	+47	+2	+5	+13	+22	−11	−8	0	+9	−17	−25	−22	−14	−5	0	−44	−41	−33	−50
225< d ≤250																					
250< d ≤280	+25	+36	+55	+3	+5	+16	+25	−13	−9	0	+9	−20	−27	−25	−14	−5	0	−49	−47	−36	−56
280< d ≤315																					
315< d ≤335	+29	+39	+60	+3	+7	+17	+28	−14	−10	0	+11	−21	−30	−26	−16	−5	0	−55	−51	−41	−62
335< d ≤400																					
400< d ≤450	+33	+43	+66	+2	+8	+18	+29	−16	−10	0	+11	−23	−33	−27	−17	−6	0	−61	−55	−45	−68
450< d ≤500																					

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

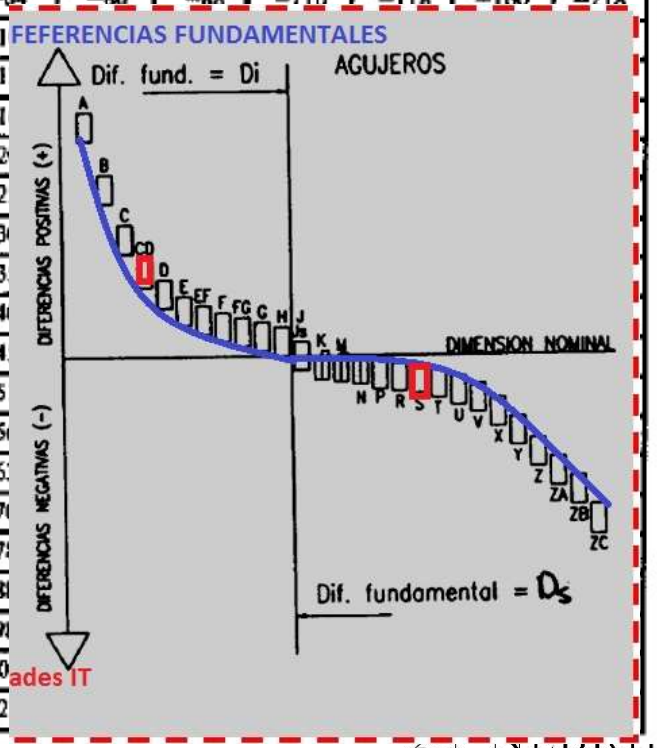
- **Diferencias fundamentales para los huecos**

Posición	R				S				T				U			
Calidad	5	6	7	≥8	5	6	7	≥8	5	6	7	≥8	5	6	7	≥8
Diámetro	Diferencia superior Ds															
d ≤3	−10	−10	−10	−10	−14	−14	−14	−14	–	–	–	–	−18	−18	−18	−18
3< d ≤6	−14	−12	−11	−15	−18	−16	−15	−19	–	–	–	–	−22	−20	−19	−23
6< d ≤10	−17	−16	−13	−19	−21	−20	−17	−23	–	–	–	–	−26	−25	−22	−28
10< d ≤14	−20	−20	−16	−23	−25	−25	−21	−28	–	–	–	–	−30	−30	−26	−33
14< d ≤18																
18< d ≤24	−25	−24	−20	−28	−32	−31	−27	−35	–	–	–	–	−38	−37	−33	−41
24< d ≤30									−38	−37	−33	−41	−45	−44	−40	−48
30< d ≤40	−30	−29	−25	−34	−39	−38	−34	−43	−44	−43	−39	−48	−56	−55	−51	−60
40< d ≤50									−50	−49	−45	−54	−66	−65	−61	−70
50< d ≤65	−36	−35	−30	−41	−48	−47	−42	−53	−61	−60	−55	−66	−82	−81	−76	−87
65< d ≤80	−38	−37	−32	−43	−54	−53	−48	−59	−70	−69	−64	−75	−97	−96	−91	−102
80< d ≤100	−46	−44	−38	−51	−66	−64	−58	−71	−86	−84	−78	−91	−119	−117	−111	−124
100< d ≤120	−49	−47	−41	−54	−74	−72	−66	−79	−99	−97	−91	−104	−139	−137	−131	−144
120< d ≤140	−57	−56	−48	−63	−86	−85	−77	−92	−116	−115	−107	−122	−164	−163	−155	−170
140< d ≤160	−59	−58	−50	−65	−94	−93	−85	−100	−128	−127	−119	−134	−184	−183	−175	−190
160< d ≤180	−62	−61	−53	−68	−102	−101	−93	−108	−140	−139	−131	−146	−204	−203	−195	−210
180< d ≤200	−71	−68	−60	−77	−116	−113	−105	−122	−160	−157	−149	−166	−230	−227	−219	−236
200< d ≤225	−74	−71	−63	−80	−124	−121	−113	−130	−174	−171	−163	−180	−252	−249	−241	−258
225< d ≤250	−78	−75	−67	−84	−134	−131	−123	−140	−190	−187	−179	−196	−278	−275	−267	−284
250< d ≤280	−87	−85	−74	−94	−151	−149	−138	−158	−211	−209	−198	−218	−308	−306	−295	−315
280< d ≤315	−91	−89	−78	−98	−163	−161	−150	−170	−233	−231	−220	−240	−343	−341	−330	−350
315< d ≤355	−101	−97	−87	−108	−183	−179	−169	−190	−261	−257	−247	−268	−383	−379	−369	−390
355< d ≤400	−107	−103	−93	−114	−201	−197	−187	−208	−287	−283	−273	−294	−428	−424	−414	−435
400< d ≤450	−119	−113	−103	−126	−225	−219	−209	−232	−323	−317	−307	−330	−483	−477	−467	−490
450< d ≤500	−125	−119	−109	−132	−245	−239	−229	−252	−353	−347	−337	−360	−533	−527	−517	−540

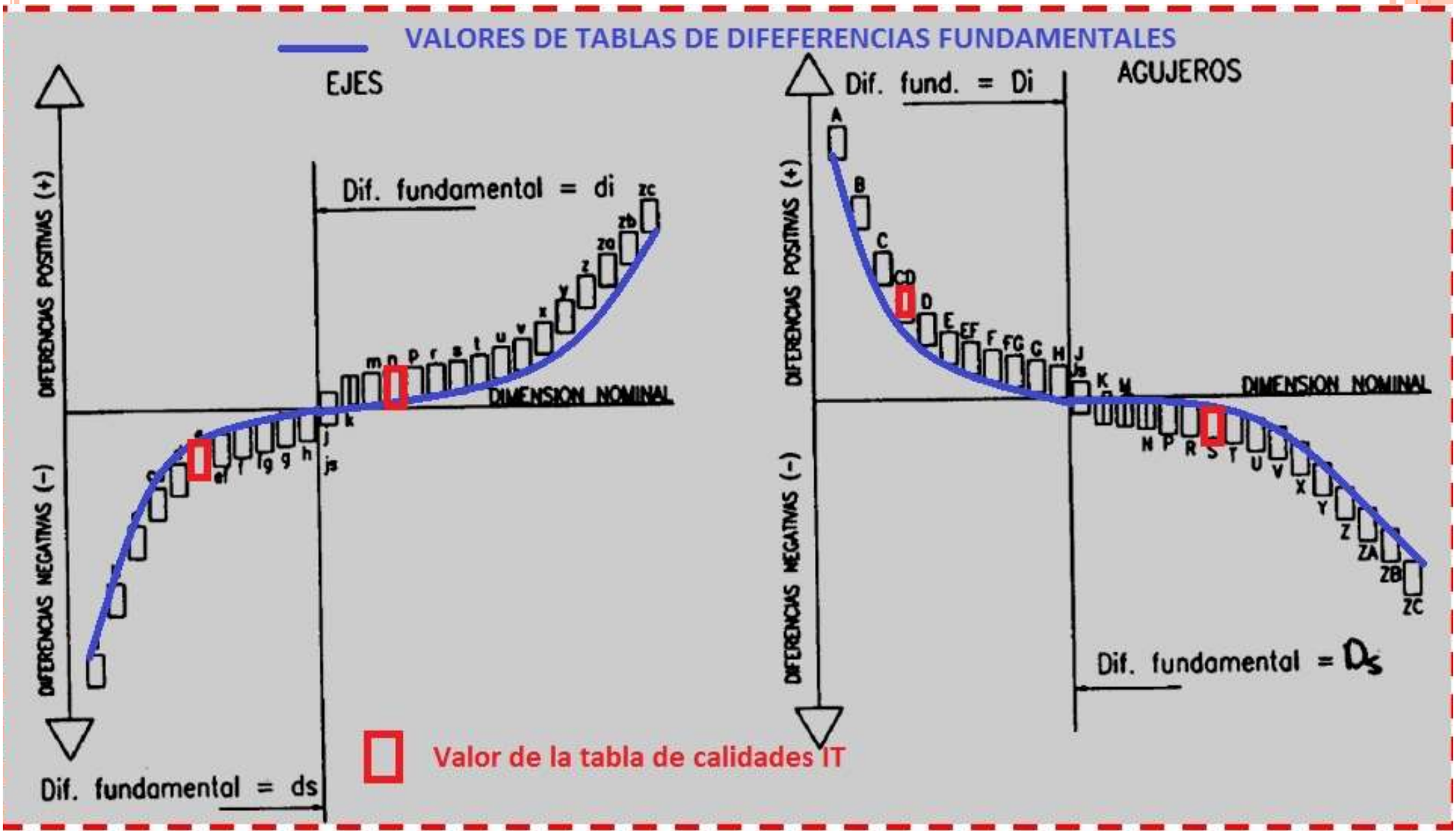
TOLERANCIAS DIMENSIONALES

- **Diferencias fundamentales para los huecos**

Posición	V				X				Y			Z			ZA		ZB	ZC
Calidad	5	6	7	≥8	5	6	7	≥8	6	7	≥8	6	7	≥8	7	≥8	≥8	≥8
Diámetro	Diferencia superior Ds																	
d ≤3	–	–	–	–	–20	–20	–20	–20	–	–	–	–26	–26	–26	–32	–32	–40	–60
3< d ≤6	–	–	–	–	–27	–25	–24	–28	–	–	–	–32	–31	–35	–38	–42	–50	–80
6< d ≤10	–	–	–	–	–32	–31	–28	–34	–	–	–	–39	–36	–42	–46	–52	–67	–97
10< d ≤14	–	–	–	–	–37	–37	–33	–40	–	–	–	–47	–43	–50	–57	–64	–90	–130
14< d ≤18	–36	–36	–32	–39	–42	–42	–38	–45	–	–	–	–57	–53	–60	–70	–77	–108	–150
18< d ≤24	–44	–43	–39	–47	–51	–50	–46	–54	–59	–55	–63	–69	–65	–73	–90	–98	–136	–188
24< d ≤30	–52	–51	–47	–55	–61	–60	–56	–64	–71	–67	–75	–84	–80	–88	–110	–118	–160	–218
30< d ≤40	–64	–63	–59	–68	–76	–75	–71	–80	–89	–85	–94	–1						
40< d ≤50	–77	–76	–72	–81	–93	–92	–88	–97	–109	–105	–114	–1						
50< d ≤65	–97	–96	–91	–102	–117	–116	–111	–122	–138	–133	–144	–1						
65< d ≤80	–115	–114	–109	–120	–141	–140	–135	–146	–168	–163	–174	–2						
80< d ≤100	–141	–139	–133	–146	–173	–171	–165	–178	–207	–201	–214	–2						
100< d ≤120	–167	–165	–159	–172	–205	–203	–197	–210	–247	–241	–254	–3						
120< d ≤140	–196	–195	–187	–202	–242	–241	–233	–248	–293	–285	–300	–3						
140< d ≤160	–222	–221	–213	–228	–274	–273	–265	–280	–333	–325	–340	–4						
160< d ≤180	–246	–245	–237	–252	–304	–303	–295	–310	–373	–365	–380	–4						
180< d ≤200	–278	–275	–267	–284	–344	–341	–333	–350	–416	–408	–425	–5						
200< d ≤225	–304	–301	–293	–310	–379	–376	–368	–385	–461	–453	–470	–5						
225< d ≤250	–334	–331	–323	–340	–419	–416	–408	–425	–511	–503	–520	–6						
250< d ≤280	–378	–376	–365	–385	–468	–466	–455	–475	–571	–560	–580	–7						
280< d ≤315	–418	–416	–405	–425	–518	–516	–505	–525	–641	–630	–650	–7						
315< d ≤355	–468	–464	–454	–475	–583	–579	–569	–590	–719	–709	–730	–8						
355< d ≤400	–523	–519	–509	–530	–653	–649	–639	–660	–809	–799	–820	–9						
400< d ≤450	–588	–582	–572	–595	–733	–727	–717	–740	–907	–897	–920	–10						
450< d ≤500	–653	–647	–637	–660	–813	–807	–797	–820	–987	–977	–1000	–12						

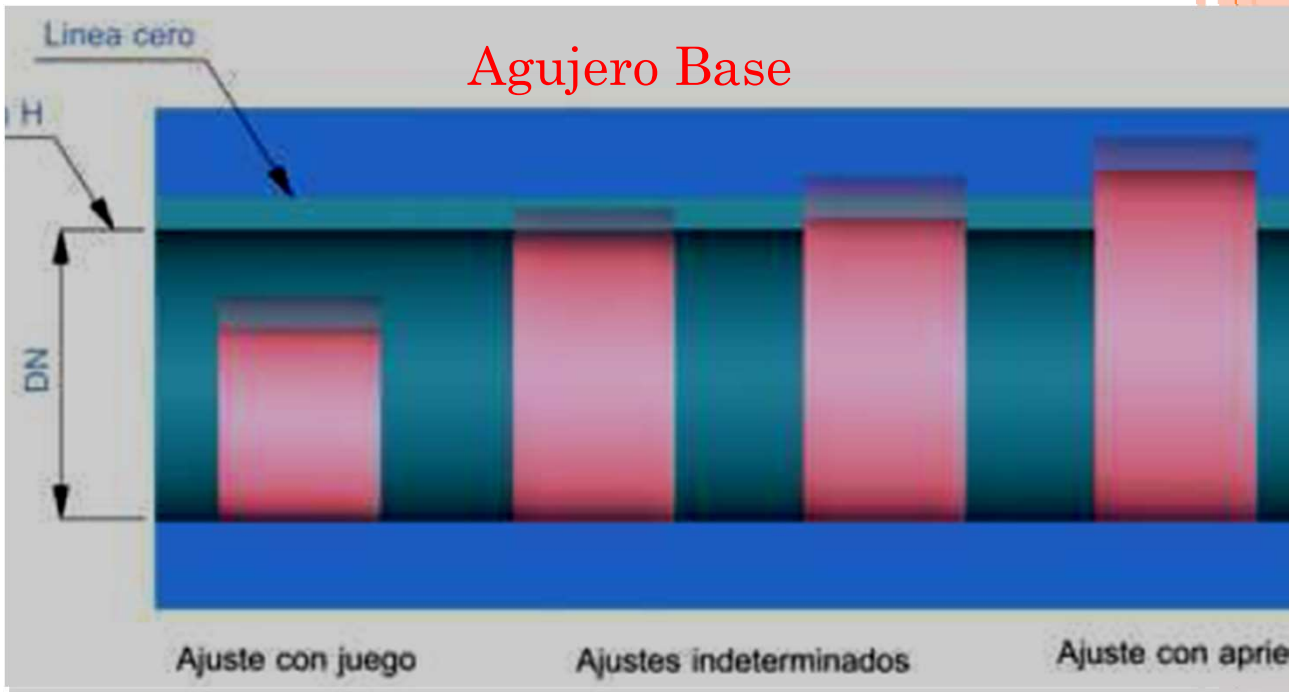


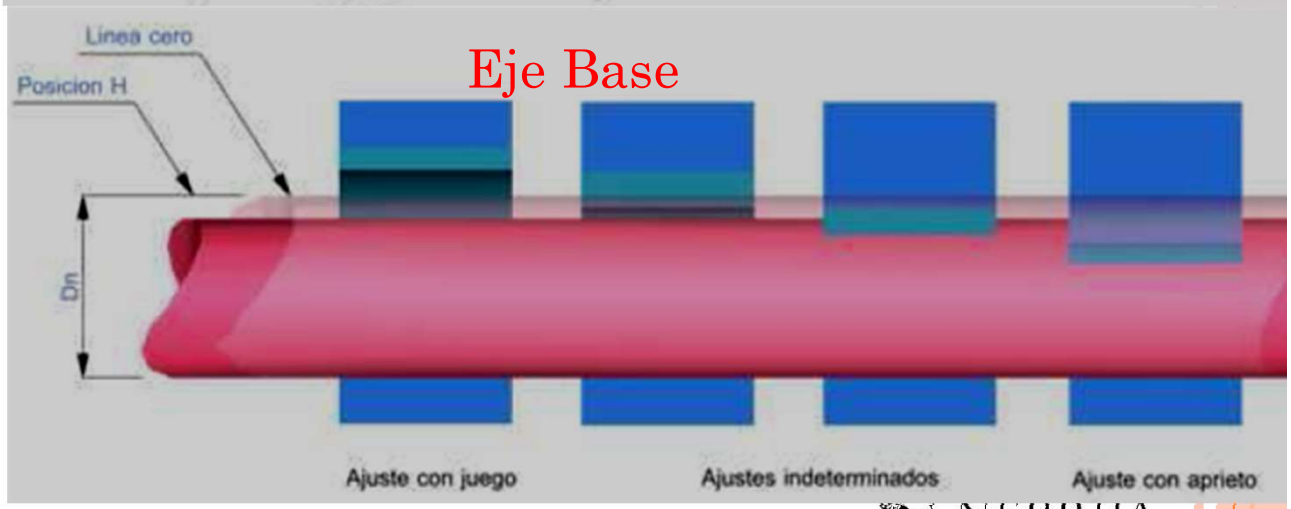
TOLERANCIAS DIMENSIONALES



TOLERANCIAS DIMENSIONALES

- **Ajuste** es **la relación** resultante de la diferencia, **antes de ensamblar**, entre **las medidas de dos elementos, agujero y eje** respectivamente, destinados a ser ensamblados. Se entiende que ambos elementos tienen la **misma medida nominal**.
- Según la zona de tolerancia de la medida interior y exterior, el ajuste puede ser:
  - **Ajuste móvil o con juego.**
  - **Ajuste indeterminado.**
  - **Ajuste fijo o con apriete.**





TOLERANCIAS DIMENSIONALES

- **Juego (J):diferencia entre las medidas del agujero y del eje**, antes del montaje.
  - **Ajuste con juego o ajuste móvil:** la diferencia entre las medidas efectivas de agujero y eje resulta positiva. Cuando la dimensión real del **hueco es mayor que la del eje**.

$$J = De - de > 0$$

  - **Juego máximo (JM):** diferencia entre la medida máxima del agujero y la mínima del eje**.**

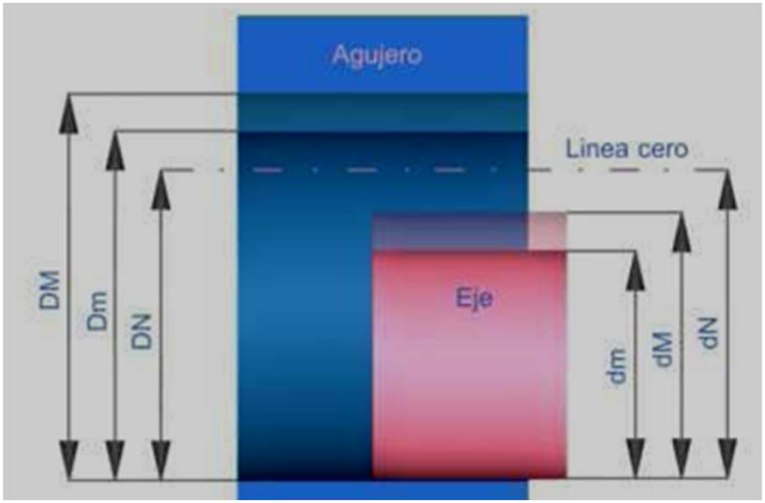
$$JM = DM - dm$$

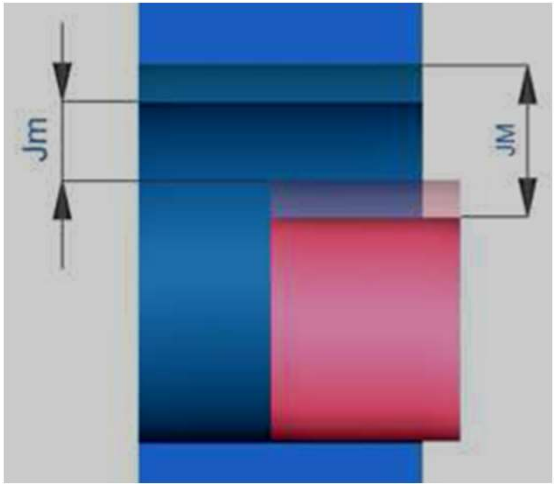
  - **Juego mínimo (Jm):** diferencia entre la medida mínima del agujero y la máxima del eje.

$$Jm = Dm - dM$$

  - **Tolerancia del juego (TJ)** a la diferencia entre los juegos máximo y mínimo, que coincide con la suma de las tolerancias del agujero y del eje:

$$\underline{TJ = JM - Jm = T + t}$$





UNIVERSIDAD NEBRIJA

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

- **Apriete (A)** es la diferencia entre las medidas efectivas de eje y agujero, antes del montaje,
  - **Ajuste con Apriete**: cuando ésta es positiva, es decir, cuando la dimensión real del **eje es mayor que la del agujero:**

$$A = de - De > 0$$

  - **Apriete máximo (AM)** es el valor de la diferencia entre la medida **máxima del eje** y la medida **mínima del agujero:**

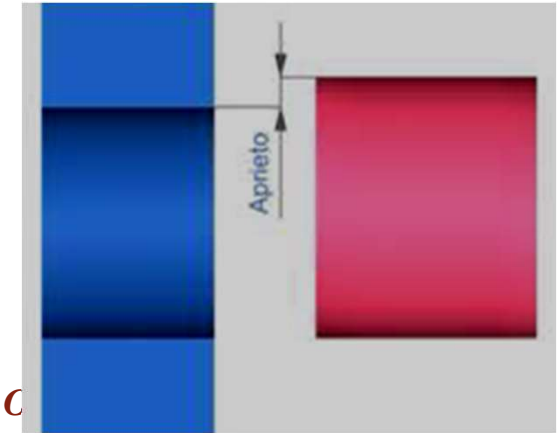
$$AM = dM - Dm$$

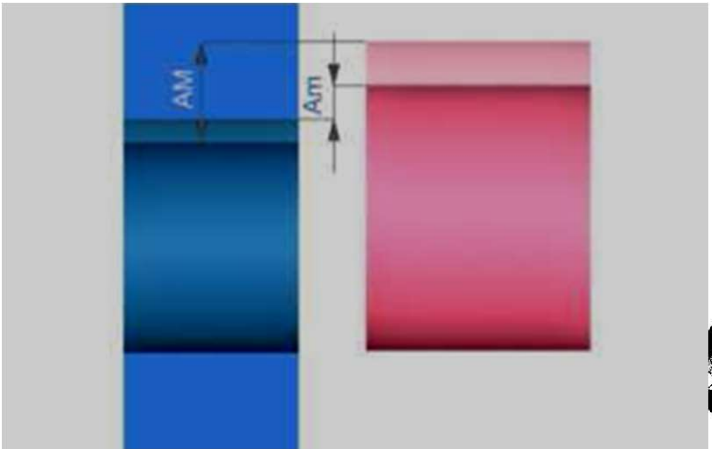
  - **Apriete mínimo (Am)** es el valor de la diferencia entre la medida **mínima del eje y la máxima del agujero:**

$$Am = dm - DM$$

  - **Se llama tolerancia del Apriete (TA)** a la diferencia entre los apriete máximo y mínimo, que coincide con la suma de las tolerancias del agujero y del eje:

$$\underline{TA = AM - Am = T + t = T + t}$$





UNIVERSIDAD NEBRIJA

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

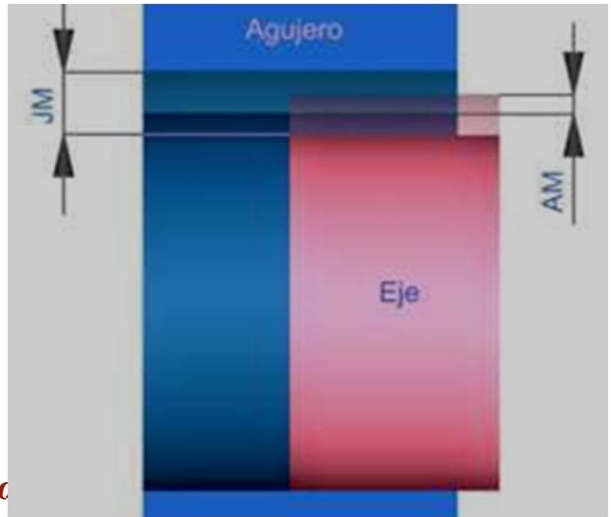
- **Ajuste indeterminado (I)** el ajuste que la **diferencia entre medidas efectivas de agujero y eje puede ser positiva o negativa,** dependiendo del caso**:**

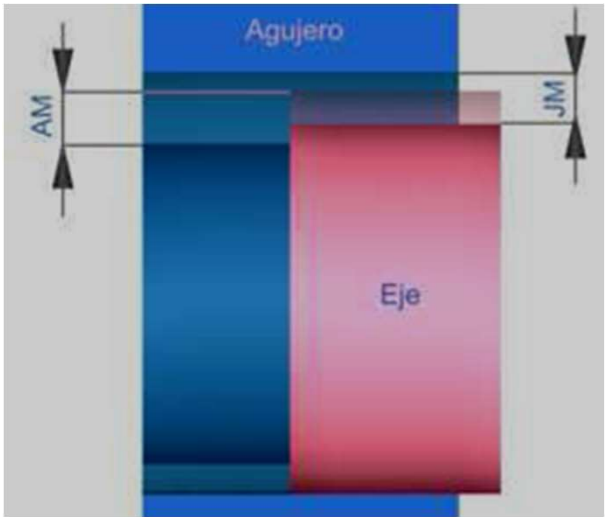
  I = De - de < 0 ó > 0; Condición: **JM = DM – dm; AM = dM - Dm**

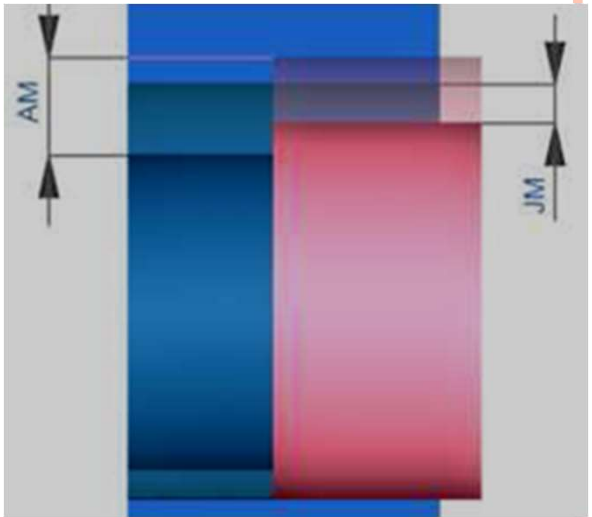
- **Tolerancia del ajuste indeterminado (TI)** a la suma del **juego máximo y del aprieto máximo,** coincidente con la suma de tolerancias de agujero y eje**:**

  TI = JM + AM = T + t

- Según las posiciones y tamaños de tolerancias de ejes y agujero se da:
  - El valor del Juego máximo supera al Apriete máximo. **JM > AM**
  - El apriete máximo es igual al juego máximo. **JM = AM**
  - El apriete máximo es superior al juego máximo. **AM < JM**







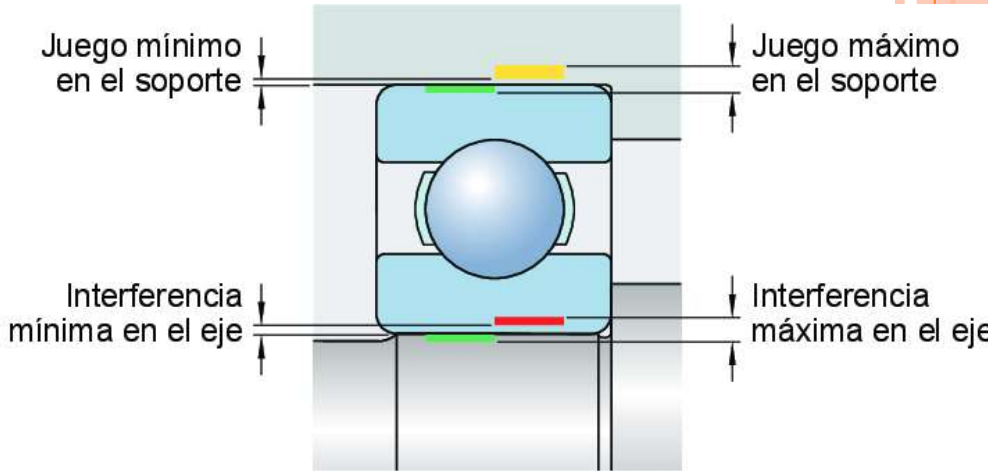
TOLERANCIAS DIMENSIONALES

- Con esta estructura la **combinación** de posibilidades es **excesivamente amplia**, **en la práctica se limitan a las mostradas** en la figura y con **preferencia** a las resaltadas en **negrilla.**

Tolerancias preferentes para ejes																
						g5	h5	js5	k5	m5	n5	p5	r5	s5	t5	
					f6	**g6**	**h6**	**js6**	**k6**	m6	**n6**	**p6**	**r6**	**s6**	t6	
				e7	**f7**		**h7**	js7	k7	m7	n7	p7	r7	s7	t7	u7
			d8	e8	f8		h8									
			d9	e9			**h9**									
			d10													
a11	**b11**	**c11**					**h11**									

Tolerancias preferentes para agujeros																
						G6	H6	Js6	K6	M6	N6	P6	R6	S6	T6	
					F7	**G7**	**H7**	**Js7**	**K7**	M7	**N7**	**P7**	**R7**	**S7**	T7	
				E8	**F8**		**H8**	Js8	K8	M8	N8	P8	R8			
			D9	**E9**	**F9**		**H9**									
			D10	E10			H10									
A11	**B11**	**C11**	D11				**H11**									

COJINETES Y LUBRI
4. NORMAS INTERNACIO

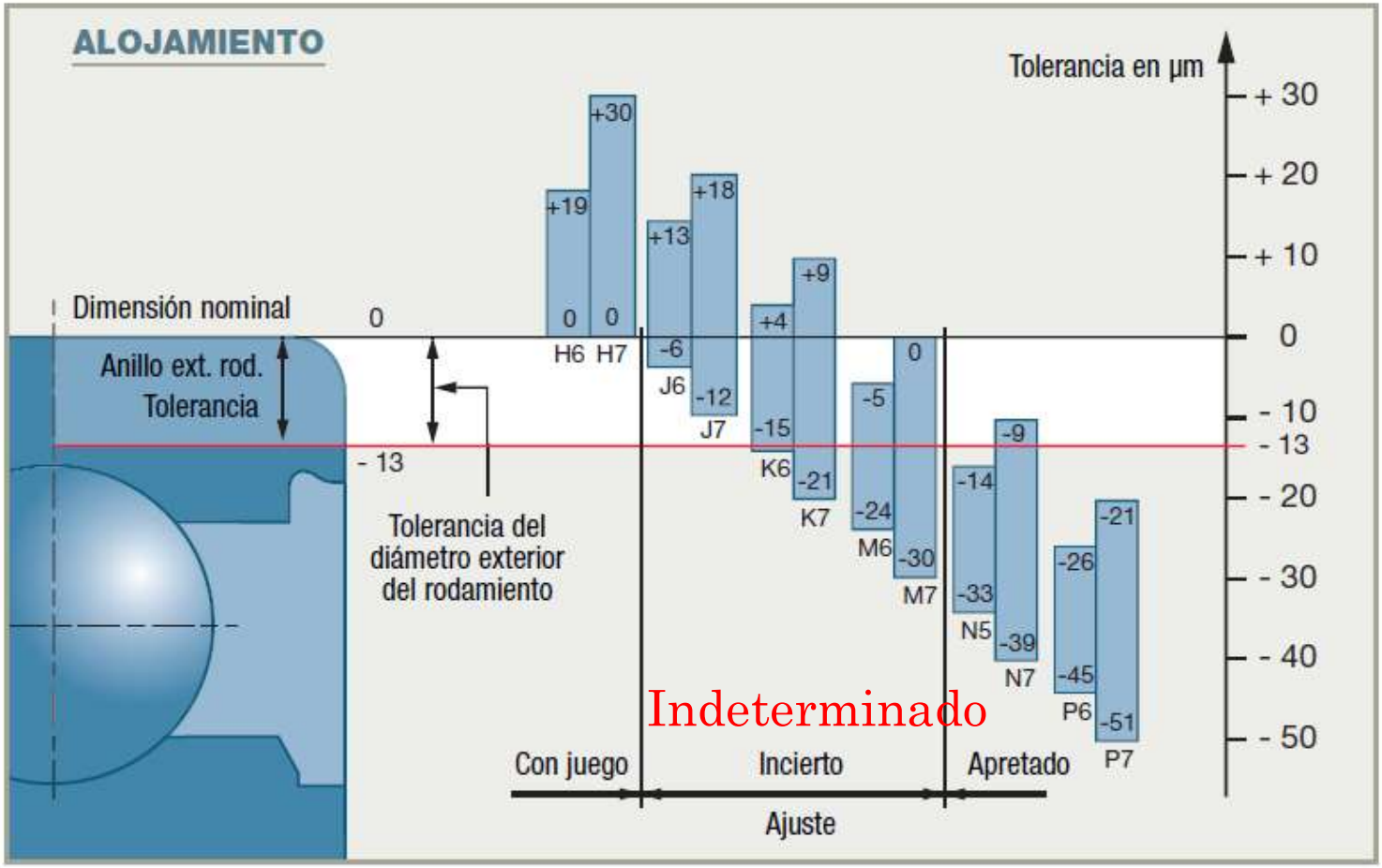


- Ajuste rodamiento / alojamiento

Intervalos de tolerancia del agujero del rodamiento y el diámetro exterior

Intervalo de tolerancia del asiento de soporte

Intervalo de tolerancia del asiento de eje



Agujero

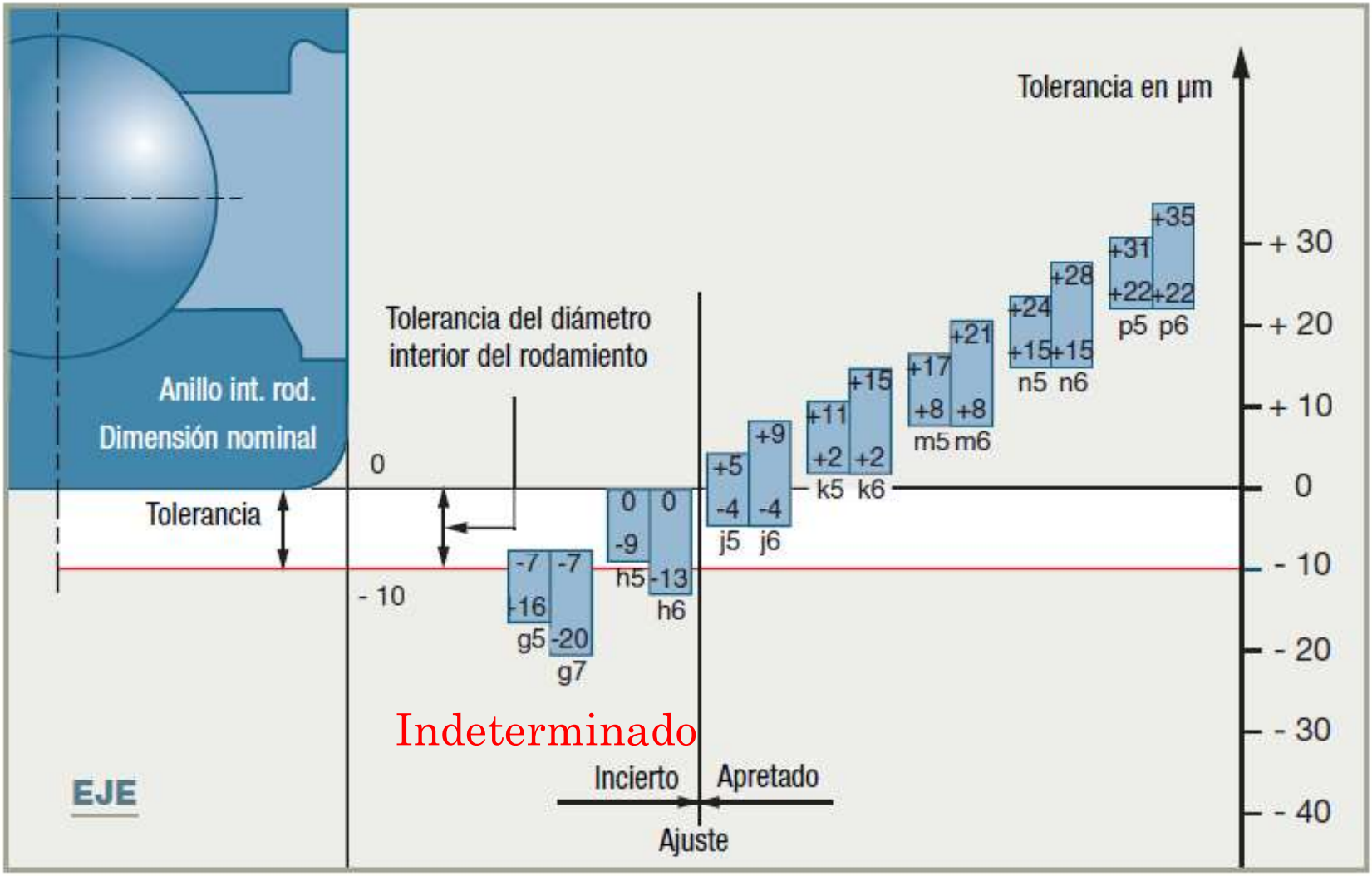
UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN

4. NORMAS INTERNACIONALES

eje

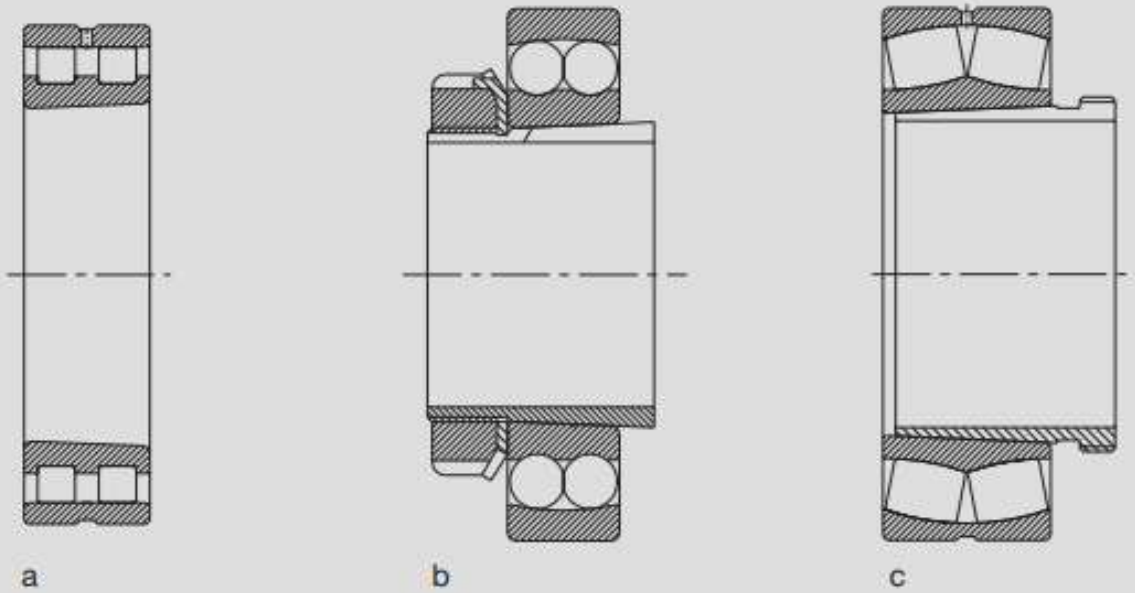
■ Ajuste eje / rodamiento



COJINETES Y LUBRICACIÓN
4. NORMAS INTERNACIONALES

- JUEGO RADIAL INTERNO
  - Juegos internos para rodamientos radiales:
  - ISO 5753:1991
  - Valores válidos para rodamientos radiales antes de su montaje y con una carga de medición cero.
  - Los valores varían de acuerdo al tipo de rodamientos.
  - Los juegos radiales para rodamientos de rodillos son mayores que para rodamientos de bolas.
  - Los juegos radiales para rodamientos con agujero cónico con mayores que para rodamientos con agujero cilíndrico. El Juego interno se reduce durante el montaje.

▼ Rodamientos con agujero cónico: a = rodamiento de rodillos cilíndricos, de doble hilera; b = rodamiento oscilante de bolas con manguito de montaje; c = rodamiento oscilante de rodillos con manguito de desmontaje

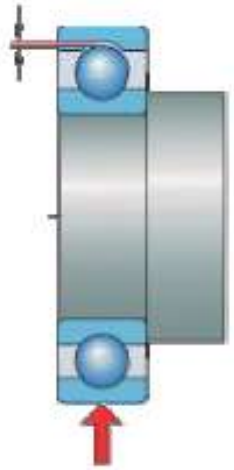


COJINETES Y LUBRICACIÓN
4. NORMAS INTERNACIONALES

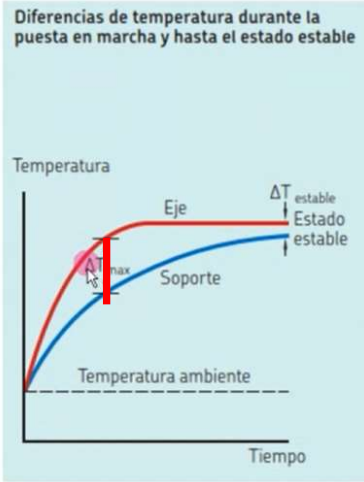
$$\Delta_{Grt} = \Delta_t \cdot \alpha \cdot (d + D)/2 \text{ [mm]},$$

siendo

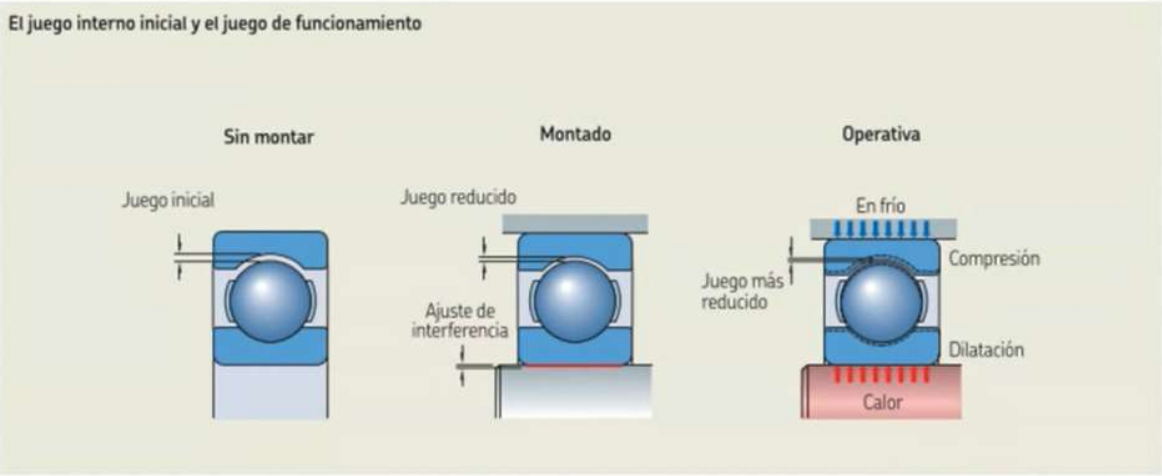
$\alpha = 0{,}000011\ K^{-1}$	coeficiente de dilatación térmica lineal del acero
d	agujero de rodamiento [mm]
D	diámetro exterior del rodamiento [mm]

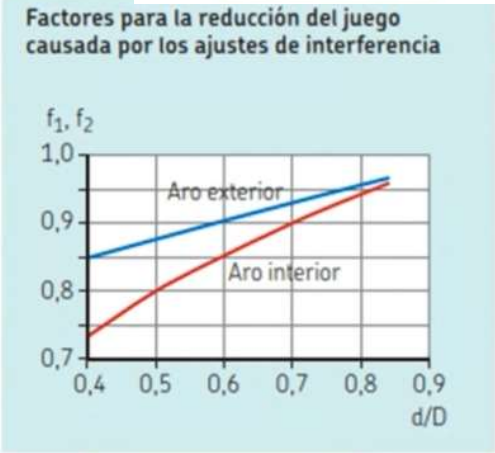


- JUEGO RADIAL INTERNO
  - Además este juego ya corregido se vuelve a reducir cuando la máquina funciona puesto que los rozamientos aumentan la temperatura esto hace que el eje dilate.
  - Cuando arranca la máquina empieza a calentarse el eje y por tanto el aro interior que empezará a dilatar pero el aro exterior todavía sigue frio. Con el tiempo los dos se van calentando pero existe un gradiente de temperatura que con el tiempo tenderá a ser menor.
  - Próximo a los arranques se producirá el gradiente máximo que disminuirá al máximo el juego interno. Se debe tener cuidado conque en este momento el juego cuplé su función y deja que los elementos rodantes giren primero y no generen muchas tensiones (daños) segundo.



$$\Delta r_{temp} = 0{,}012\ \Delta T\ d_m$$





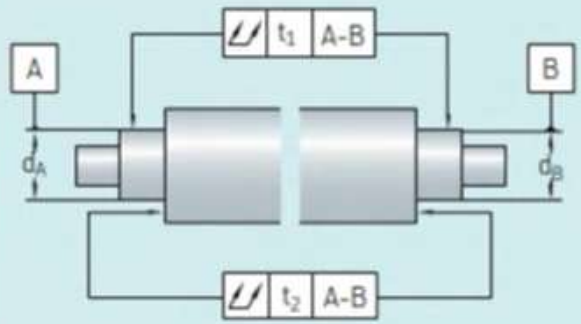
$$\Delta r_{fit} = \Delta_1 f_1 + \Delta_2 f_2$$

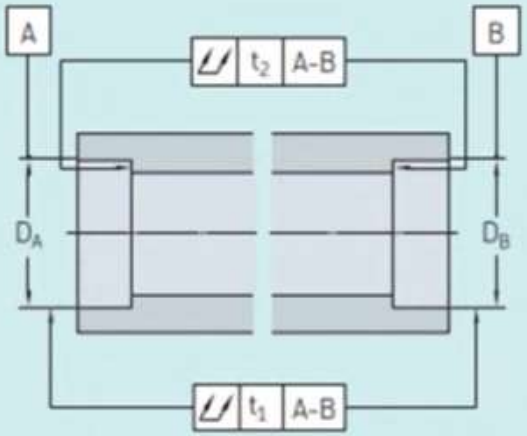
COJINETES Y LUBRICACIÓN

4. TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS DE FORMA.

Grados de tolerancia para los asientos de rodamientos[1)]

Requisitos de las aplicaciones	Asiento del eje			Asiento del soporte		
	Grado de tolerancia dimensional	Grados de tolerancia geométrica		Grado de tolerancia dimensional	Grados de tolerancia geométrica	
		Variación radial t_1	Variación axial t_2		Variación radial t_1	Variación axial t_2
Rodamiento con tolerancias normales (velocidad y precisión de giro moderadas)	IT6	IT5/2	IT5	IT7	IT6/2	IT6
Rodamiento con tolerancias P6 (velocidades o precisión de giro más altas)	IT5	IT4/2	IT4	IT6	IT5/2	IT5
Rodamiento con tolerancias P5 (velocidades y precisión de giro altas)	IT4	IT3/2	IT3	IT5	IT4/2	IT4

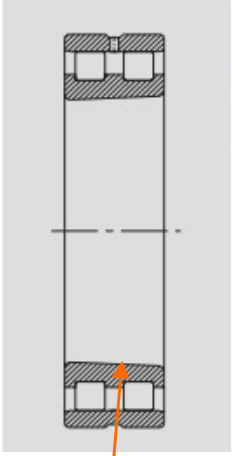


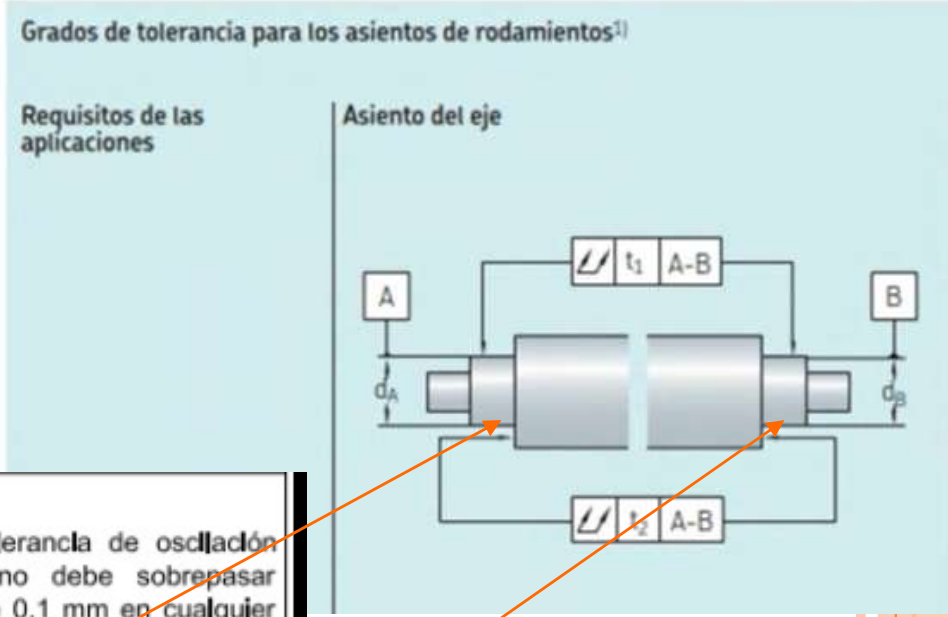


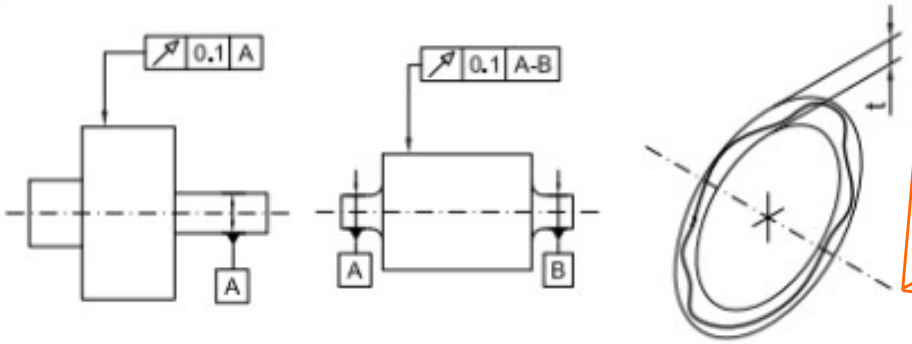
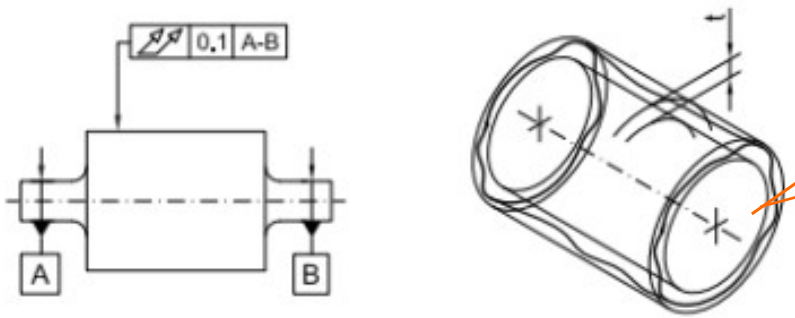
COJINETES Y LUBRICACIÓN

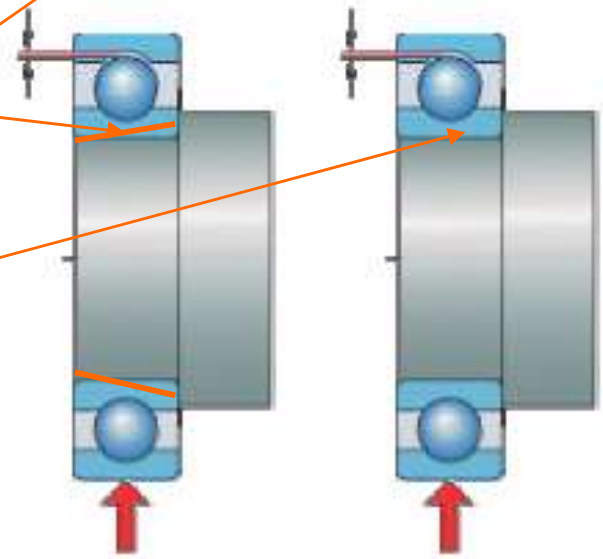
4. TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS DE FORMA

Los juegos radiales para rodamientos con agujero cónico con mayores que para rodamientos con agujero cilíndrico.



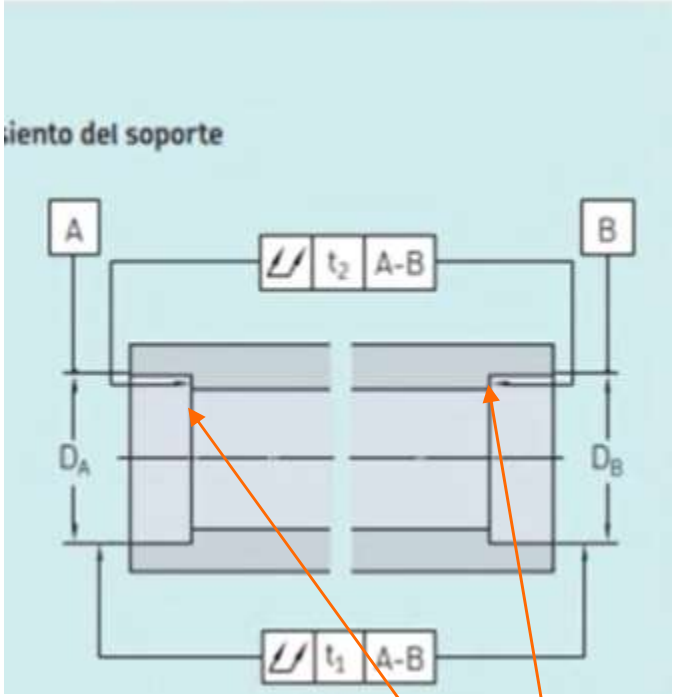


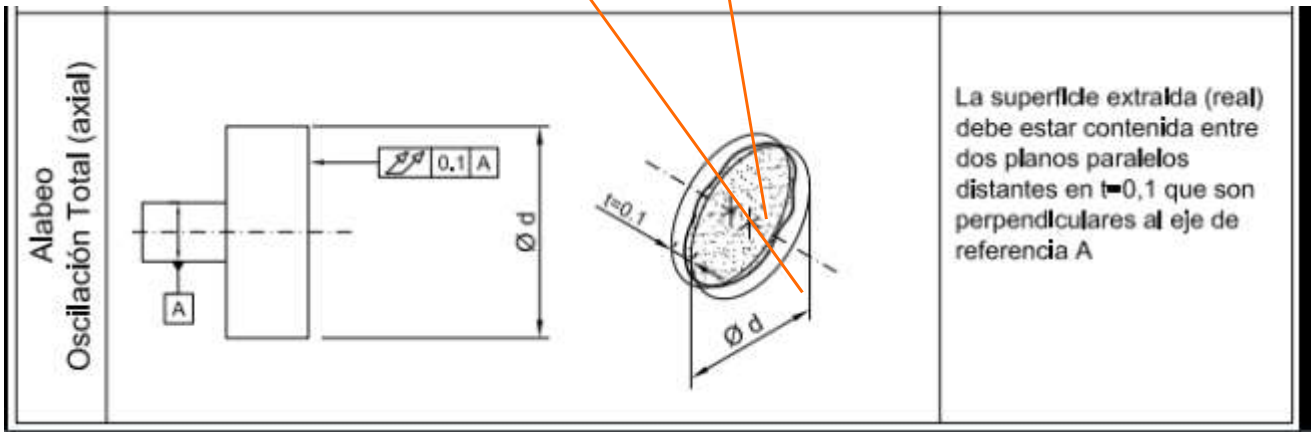
Alabeo Oscilación circular (radial)		La tolerancia de oscilación radial no debe sobrepasar más de 0,1 mm en cualquier plano de medición, durante una vuelta completa, alrededor del eje de referencia A o A-B.
Alabeo Oscilación Total (radial)		La tolerancia de oscilación total radial no debe sobrepasar más de 0,1 mm, en cualquier punto de la superficie especificada, durante varias revoluciones alrededor del eje de referencia A-B, y con movimiento axial relativo entre la pieza y el instrumento de medida.



COJINETES Y LUBRICACIÓN

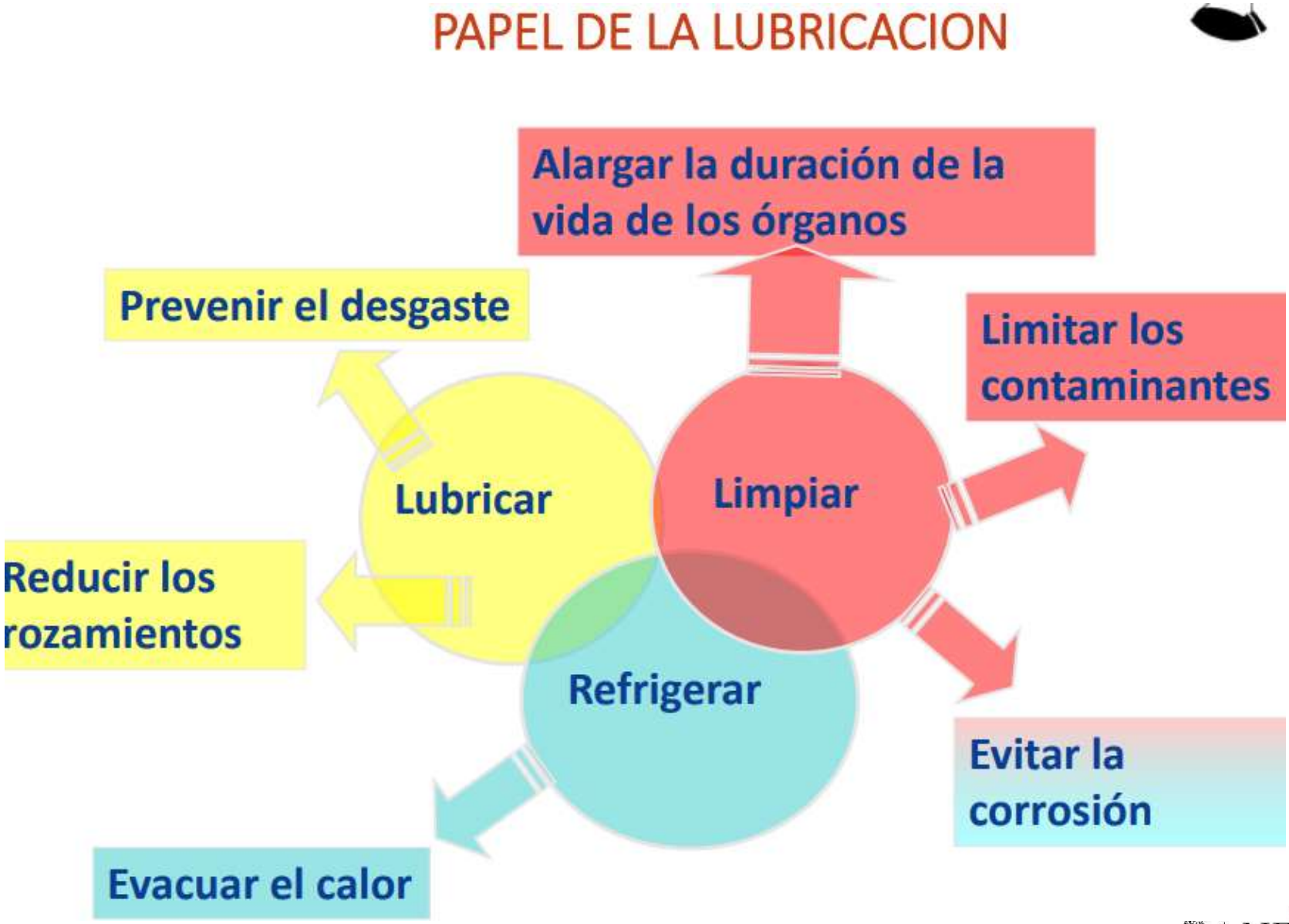
4. TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS DE FORMA





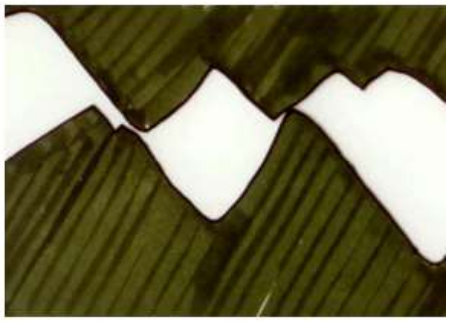
COJINETES Y LUBRICACIÓN

5. LUBRICACIÓN



LA PRINCIPAL FUNCIÓN ES REDUCIR LOS ROZAMIENTOS

Un lubricante separa las partes que están en movimiento para reducir la fricción. Esta produce calor (consumo de energía) y desgaste en las superficies

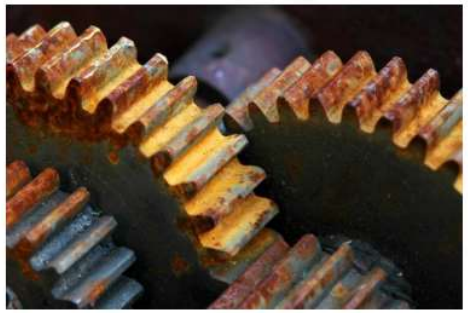


Mantenimiento de la limpieza
- **impedir la acumulación de depósitos (barnices…)**

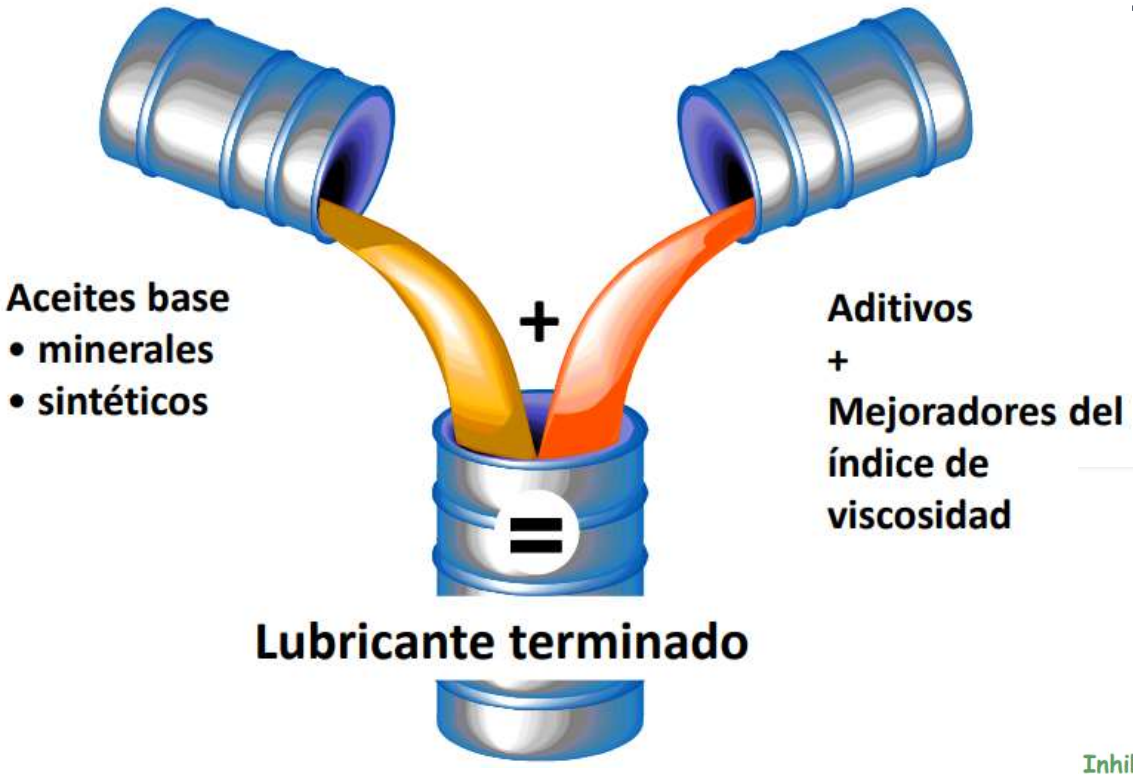
Disminuir la temperatura
- Absorber y evacuar calorías

Proporcionar estanqueidad
- Pistones de los sistemas, otros

Combatir la corrosión
- Acción O_2 del aire + humedad + calor
- Contaminantes : Ácidos, Azufre ...

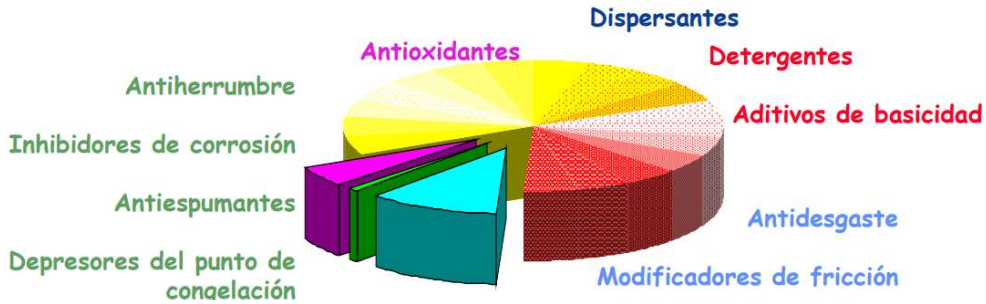


LOS LUBRICANTES



PROPIEDADES DE LAS BASES

ADITIVOS



TIPO DE ADITIVO	ACEITE CARTER	TRANSMISION AUTOMÁTICA	HIDRAÚLICO	ENGRANAJES	TURBINAS
Detergente metálico	X				
Dispersante sin cenizas	X	X			
Antioxidante	X	X	X	X	X
Antidesgaste	X	X	X	X	
Antiherrumbre	X		X	X	
Inhibidor de corrosión	X	X			
Modificador de fricción	X	X			
Extrema-presión				X	
Antiespumante	X	X	X	X	X
Mejorador de Indice	X	X			
Depresor p. congelación	X	X			

Hidrocarburos

BASES

	Categorías de básicos de API				
	Categoría del básico	Azufre (%)		Saturados %	Índice de viscosidad
Mineral	Grupo I (refinado por solvente)	>0.03	y/o	<90	80 a 120
Mineral	Grupo II (hidrotratados)	<0.03	y	>90	80 a 120
Mineral	Grupo III (hidrofraccionados)	<0.03	y	>90	>120
Sintético	Grupo IV	Lubricante sintético PAO			
Sintético	Grupo V	Todos los otros básicos no incluidos en los Grupos I, II, III o IV			

COJINETES Y LUBRICACIÓN

5. LUBRICACIÓN

LA VISCOSIDAD

Es fundamental conocer en todos los puntos la viscosidad « real » encontrada en servicio.

- Función de la temperatura, del cizallamiento, de la presión o del caudal,…

- Influye sobre:

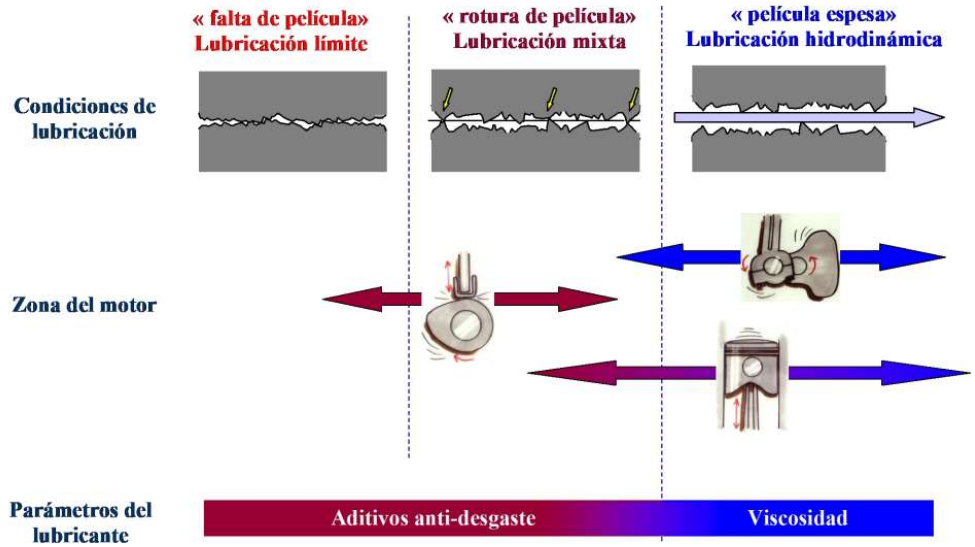
  - El desgaste (fiabilidad, duración de la vida del motor,)
  - El rozamiento (consumo de carburante)
  - El arranque
  - La refrigeración (fiabilidad, ensuciamiento del motor, …)
  - …

Resistencia al desplazamiento de un lubricante

La viscosidad depende de la temperatura

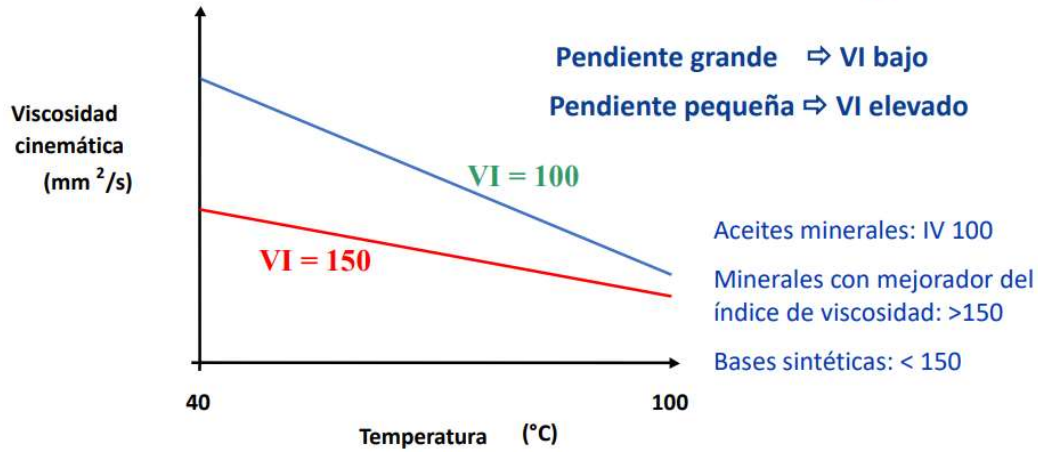
disminuye cuando aumenta la temperatura

REDUCCION DE LOS ROZAMIENTOS



ÍNDICE DE VISCOSIDAD (VI) :

Caracteriza la variación de la viscosidad con la temperatura



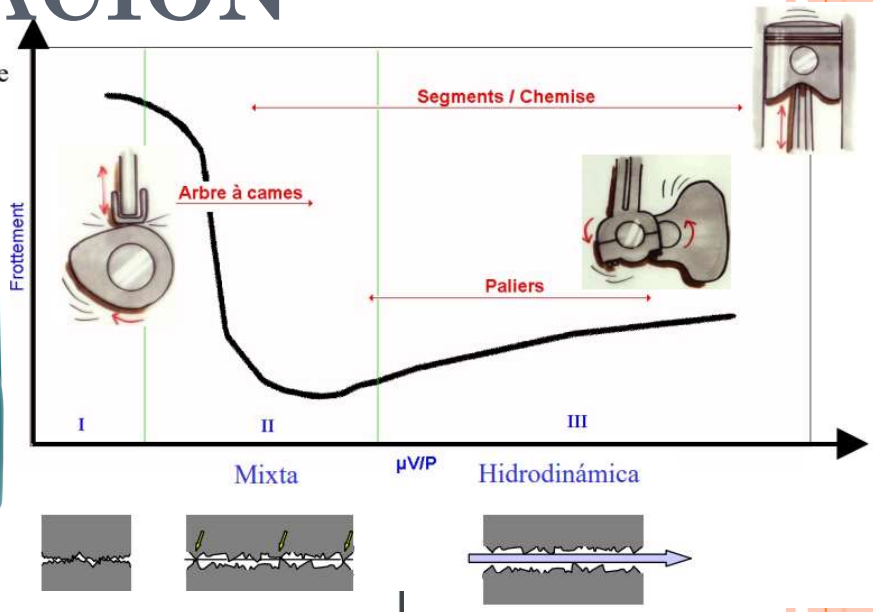
COJINETES Y LUBRICACIÓN

5. LUBRICACIÓN

LA VISCOSIDAD: ¿CUAL ES SU PAPEL?
EN FRIO

En frío, el aceite debe ser suficientemente fluido para:

- Ser facilmente bombeable
  MRV: baja temperatura
- Facilitar la puesta en rotación del motor
  CCS: baja temperatura
  tasa de cizallamiento elevada



60 à 80 % DEL DESGASTE SE GENERA EN EL ARRANQUE A BAJA TEMPERATURA
1 ARRANQUE A BAJA TEMPERATURA = 400 ARRANQUES EN CALIENTE

Notas :
- 1 mPa.s = 1 cP ; 1 mm²/s = 1cSt
- (1) : grados 0W-40, 5W-40 y 10W-40
- (2) : grados 15W-40, 20W-40, 25W-40 y 40

Grado de viscosidad SAE	Viscosidad (mPa.s) a baja temperatura (°C) ASTM D 5293 CCS	Viscosidad (mPa.s) a baja temperatura (°C) ASTM D 4684 MRV En ausencia de congelación	Viscosidad cinemática (mm²/s) a 100°C ASTM D445 Min	Max	Viscosidad (mPa.s) HTHS : alta temperatura (150°C) bajo fuerte tasa de cizallamiento ($10^6 s^{-1}$) ASTM D 4683 CEC L-36-A-90 (ASTM D 4741)
0W	< 6 200 à - 35	< 60 000 à - 40	> 3.8		
5W	< 6 600 à - 30	< 60 000 à - 35	> 3.8		
10W	< 7 000 à - 25	< 60 000 à - 30	> 4.1		
15W	< 7 000 à - 20	< 60 000 à - 25	> 5.6		
20W	< 9 500 à - 15	< 60 000 à - 20	> 5.6		
25W	< 13 000 à - 10	< 60 000 à - 15	> 9.3		
20			> 5.6	< 9.3	> 2.6
30			> 9.3	< 12.5	> 2.9
40			> 12.5	< 16.3	> 2.9 (1)
40			> 12.5	<16.3	> 3.7 (2)
50			> 16.3	<21.9	> 3.7
60			> 21.9	< 26.1	> 3.7

Unidades.

Viscosidad dinámica. (En el arranque).

SI: Pa.s, Ns/m2 o Kg/ms.

CGS: pouise = 1g/s/cm cP centipouise

Conversión = 1cP=10^-3Pas.

Visc. cinemática. Visc. dinámica/densidad.

Aceite en movimiento mayor Tª.

SI: m2/s.

CGS: Stoke: S o St = 1 cm2/s =0,0001 m2/s

centistokes 1cSt= 1mm2/s, 1 cm2/s

COJINETES Y LUBRICACIÓN

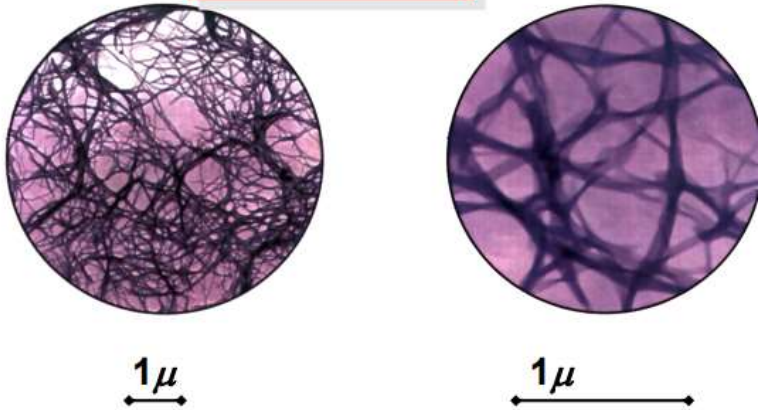
GRASAS

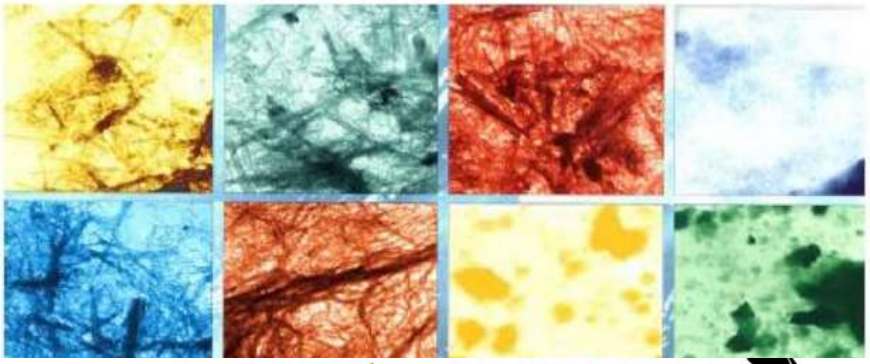
NEBRIJA

Formada por la dispersión de un agente espesante (normalmente un jabón o gel) en un lubricante (bases + aditivos). En algunos casos se utilizan aditivos sólidos.

El espesante forma fibras que hacen de depósito de aceite al entrelazarse las fibras.

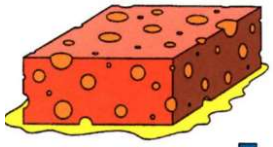
ESTRUCTURA



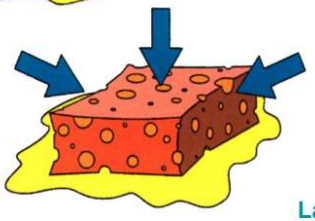


LA GRASA ACTÚA COMO UNA ESPONJA

Como en el caso de los poros de una esponja, los espacios libres existentes en el tejido de fibras se llenan de aceite.



Una débil presión eliminará nada más que una pequeña cantidad de líquido



Pero una presión más fuerte expulsará una cantidad mayor.

Grade NLGI	ASTM Pénétration travaillée à 25°C
000	445 - 475
00	400 - 430
0	355 - 385
1	310 – 340
2	265 - 295
3	220 - 250
4	175 - 205
5	130 - 160
6	85 - 115

Las fibras del tejido pueden también participar en el proceso de lubricación.

Ventajas

- Previene fugas y goteos
- Cierra el paso a contaminación externa
- Reduce las FRECUENCIAS de lubricación
- Ayuda en el funcionamiento intermitentes
- Reducen ruidos,
- Funcionan bien a altas presiones, cargas de choque y velocidades bajas

Desventajas

- No ayudan a refrigerar el punto lubricado
- No eliminan la suciedad

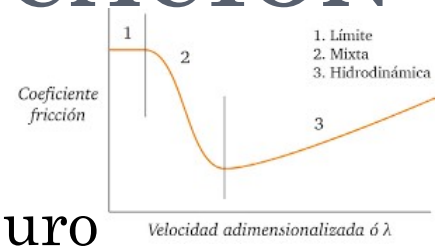
COJINETES Y LUBRICACIÓN
5. LUBRICACIÓN

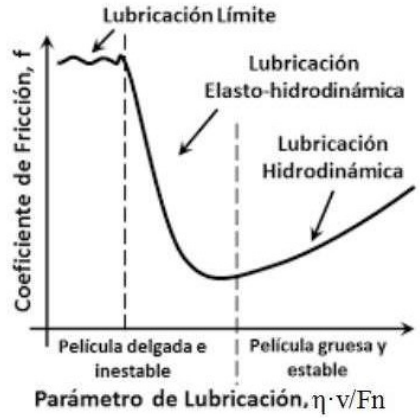
Elementos	tipo de engrase grasa	aceite
. órganos veloces	inadecuada	muy adecuado
. órganos lentos	muy adecuada	inadecuado
. órganos fuertemente cargados	adecuada	inadecuado
. trabajos con largas paradas, o servicio intermitente	adecuada	inadecuado
. ayuda a la refrigeración	inadecuada	muy adecuado
. trabajo en superficies verticales o bajo fuerzas centrífugas moderadas.	muy adecuada	adecuado
. Resistencia al agua	adecuada	inadecuado
. Protección antiherrumbre	muy adecuada	adecuado
. Ayuda a la estanqueidad	adecuada	*
. Eliminación de contaminación interna	inadecuada	muy adecuado
. Aislante de contaminación externa	muy adecuada	adecuado
. acceso difícil al material a lubricar	muy adecuada	adecuado/inadecuado
. paradas prolongadas	muy adecuada	inadecuado
. engrase de por vida	muy adecuada	inadecuado
. adhesividad	muy adecuada	inadecuado
. capacidad de carga	muy adecuada	*

PROPIEDADES TÍPICAS DE ESPESANTES

Calcio	Excelente resistencia al agua. Pero mala resistencia a alta temperatura y presión extrema
Complejo de Sulfonato de calcio	Alta resistencia al agua. Muy resistente a altas temperaturas. Larga vida útil. Muy fuerte a la presión extrema (EP) Excelente estabilidad mecánica
Litio/Calcio y Complejo Li/Ca	Buena resistencia a alta temperatura, multiuso. Resistencia media al agua . Presión extrema
Bentonas	Muy buena resistencia a alta temperatura Problemas de compatibilidad
Aluminio	Muy buena adhesividad. Buena resistencia al agua. Resistencia a alta temperatura
Poliurea	Muy buena resistencia a alta temperatura. Grasa larga vida útil. No soluble en agua

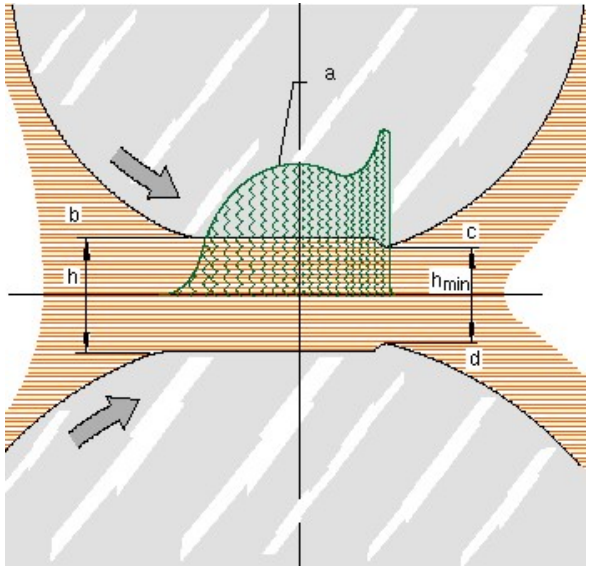
COJINETES Y LUBRICACIÓN
5. LUBRICACIÓN





- Elementos en contacto rodante puro
- Lubricación elastohidrodinámica

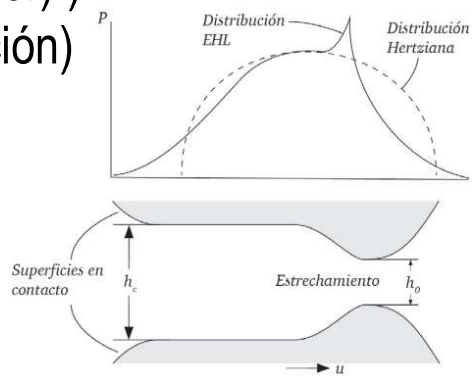
Rodadura + Deslizamiento

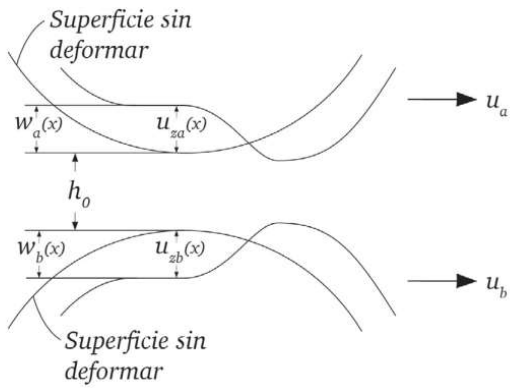


$$\eta = \eta_0 \cdot e^{\alpha p}$$

Objetivos

- ↓ fricción y desgaste. Película Lubricante
- ↑ vida (vida = f(viscosidad, espesor))
- Refrigeración (distribución y disipación)
- ↓ corrosión
- Eliminar partículas extrañas





COJINETES Y LUBRICACIÓN
5. LUBRICACIÓN

- TIPOS DE LUBRICANTE
- GRASA
  - Temperatura no superior a 110ºC (habitualmente)
  - Velocidad baja
  - Protección especial ante la entrada de material extrañas
  - Se desean alojamientos sencillos para cojinetes
  - Para cuando es necesario operar durante periodos largos sin mantenimiento.
- ACEITE
  - Velocidades altas
  - Temperaturas elevadas
  - Se emplean sellos a prueba de aceite
  - El tipo de cojinete no es apropiado para la lubricación con grasa
  - Cojinete se lubrica desde un sistema central que también lubrica otras piezas

COJINETES Y LUBRICACIÓN
5. LUBRICACIÓN

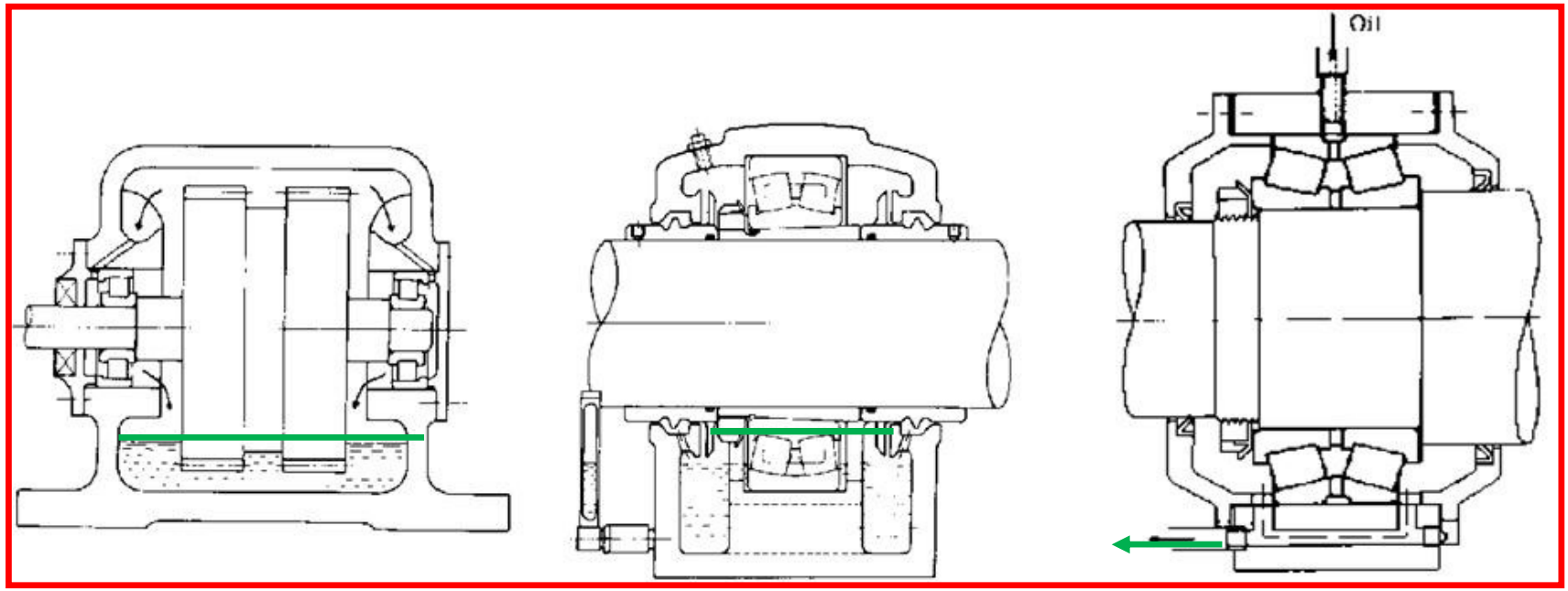
	GRASA	ACEITE
Estructura de cajas sellada	Simple	Compleja ⇒ mantenimiento
Velocidad	del 65% al 80% con respecto a aceite	Velocidad límite
Enfriamiento	Malo	Mediante circulación forzada
Fluidez	Mala	Buena
Sustitución completa del lubricante	A veces difícil	Fácil
Extracción de partículas	Imposible	Fácil

COJINETES Y LUBRICACIÓN
5. LUBRICACIÓN

GRASA

- Cantidad: 1/2 a 2/3 si V < 50% de la límite
  1/3 a 1/2 si V > 50%
- No suele necesitar ser reemplazada.

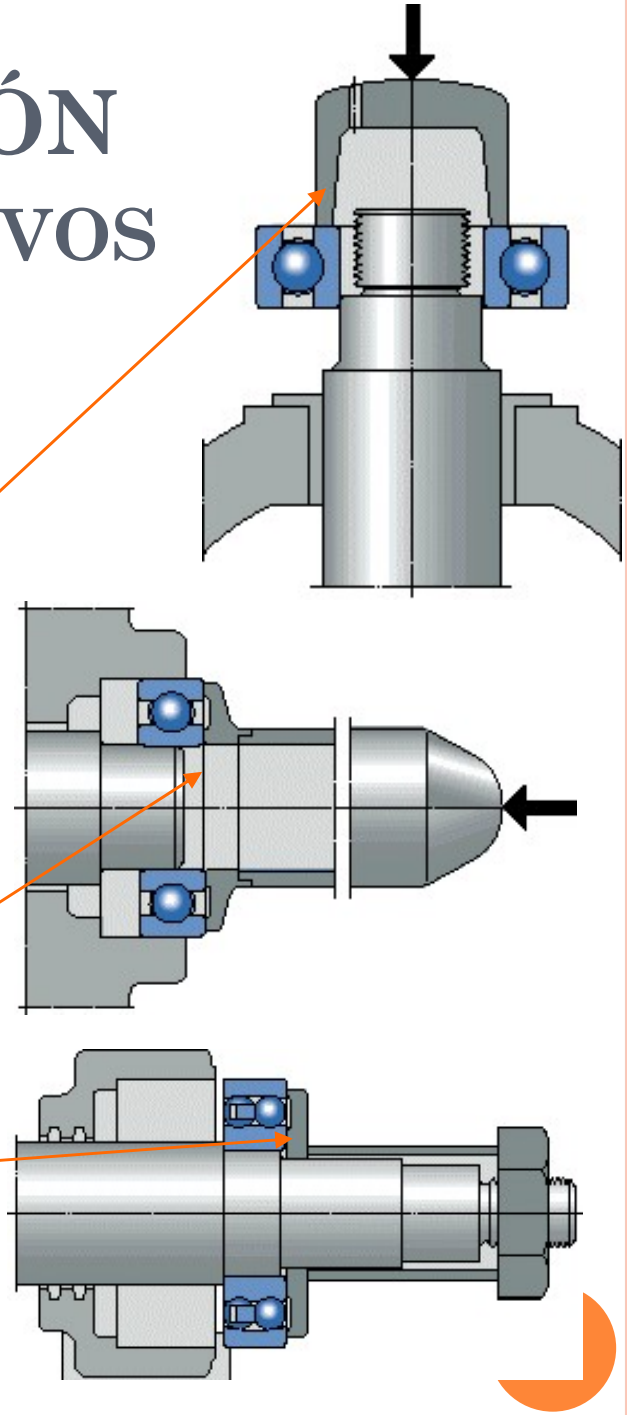
ACEITE



BARBOTEO BAÑO CIRCULANTE: ↑ V y Ta

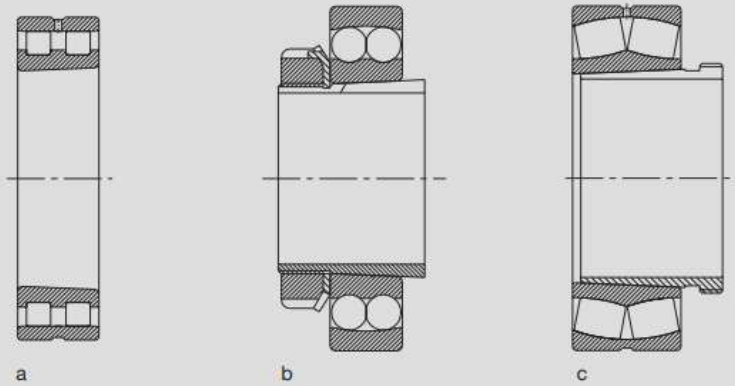
COJINETES Y LUBRICACIÓN
6. CONDICIONANTES OPERATIVOS

- MONTAJE EN FRÍO
- Rodamientos pequeños
  - Aplicando ligeros golpes de martillo sobre un manguito colocado contra la cara del aro interno del rodamiento
- Rodamientos no desmontables
  - La fuerza de montaje se debe aplicar de un modo uniforme a ambos aros, y las superficies de apoyo de la herramienta de montaje deben estar en el mismo plano.
- Rodamientos autoalineantes
  - El uso de un aro de montaje intermedio evita que el aro exterior se incline y se gire al introducir el rodamiento con el eje en el agujero de soporte.

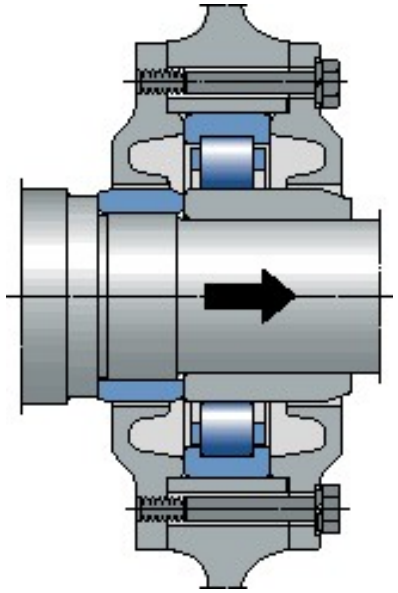


COJINETES Y LUBRICACIÓN
6. CONDICIONANTES OPERATIVOS

▼ Rodamientos con agujero cónico: a = rodamiento de rodillos cilíndricos, de doble hilera; b = rodamiento oscilante de bolas con manguito de montaje; c = rodamiento oscilante de rodillos con manguito de desmontaje



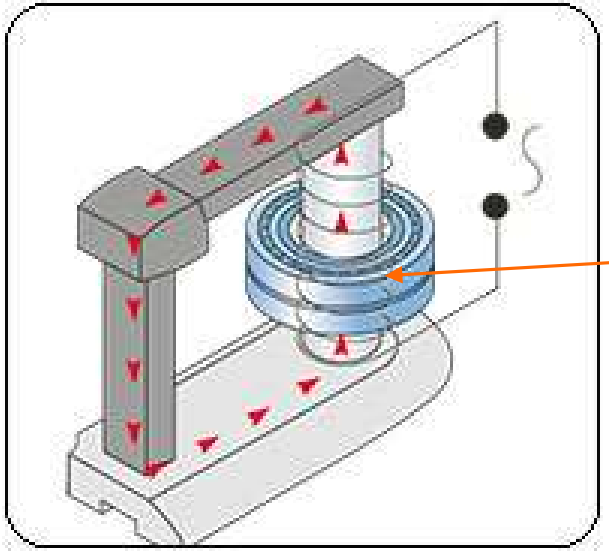
- MONTAJE EN FRÍO
- Rodamientos desarmables
  - El aro interior se puede montar independientemente del exterior, cual simplifica el montaje, especialmente cuando ambos aros han de tener ajustes de interferencia.
- MONTAJE EN CALIENTE
  - Se usa para rodamientos de mayor tamaño o en aquellos diseños donde la interferencia es muy elevada.
  - Se aprovecha la dilatación y/o contracción de los materiales en función de su temperatura para disminuir la interferencia y posibilitar el montaje.
  - Problema: desmontaje

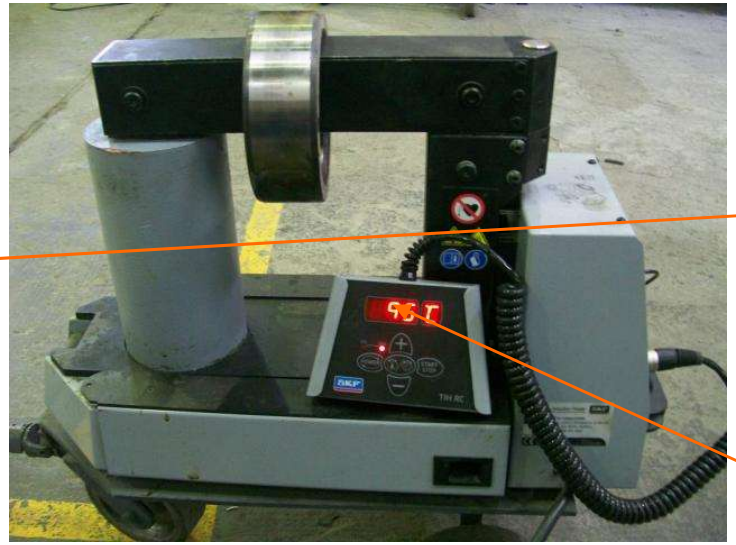


UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN
6. CONDICIONANTES OPERATIVOS

- MONTAJE EN CALIENTE



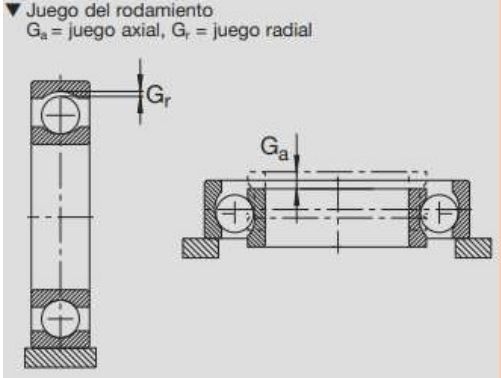


Utilización de calentadores de inducción, en los que se puede controlar la temperatura muy bien.

No utilizar llama podía dañaría jaulas.

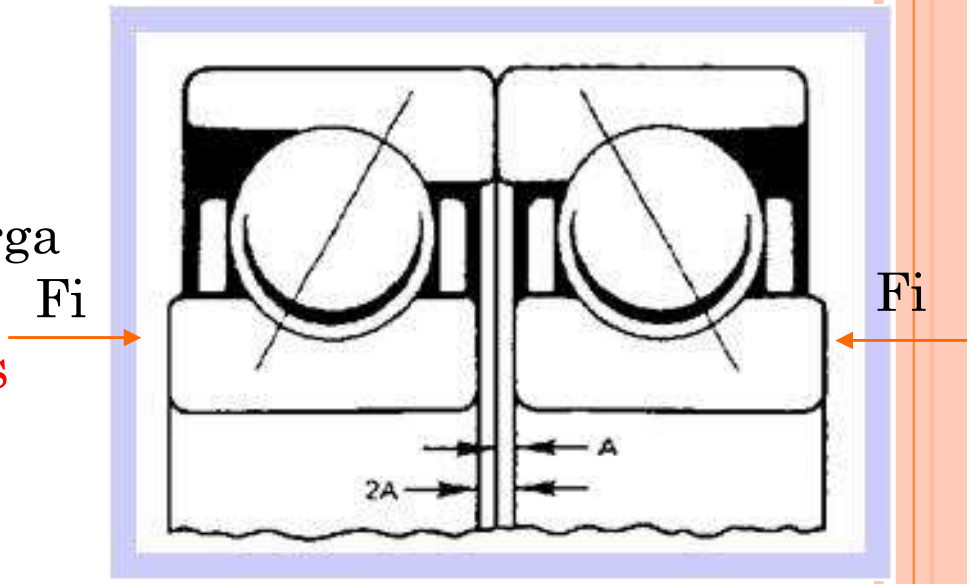
Otra opción es el baño Maria

COJINETES Y LUBRICACIÓN
6. CONDICIONANTES OPERATIVOS



MONTAJE : Juego Interno

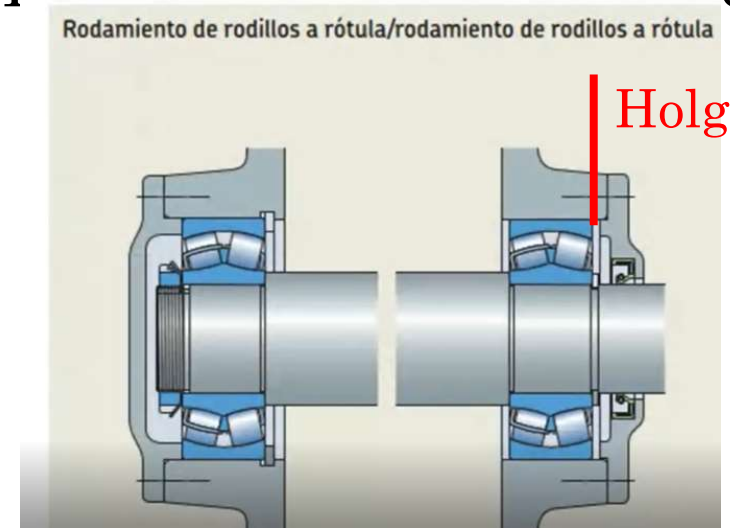
- Distancia que se desplazan los anillos entre sí.
- Afecta a:
  - Vida a fatiga
  - Vibración y ruido
  - Generación de calor
- Es útil para absorber dilataciones
- Está normalizado
- Eliminación mediante precarga:
  - ↑ rigidez de rodamientos (posición y funcionamientos + exactos)
  - ↑ vida (asegura contacto entre elementos)
  - ↓ ruido y vibraciones
  - ↓ deslizamientos a altas velocidades (efectos giroscópicos)



COJINETES Y LUBRICACIÓN

6. CONDICIONANTES OPERATIVOS

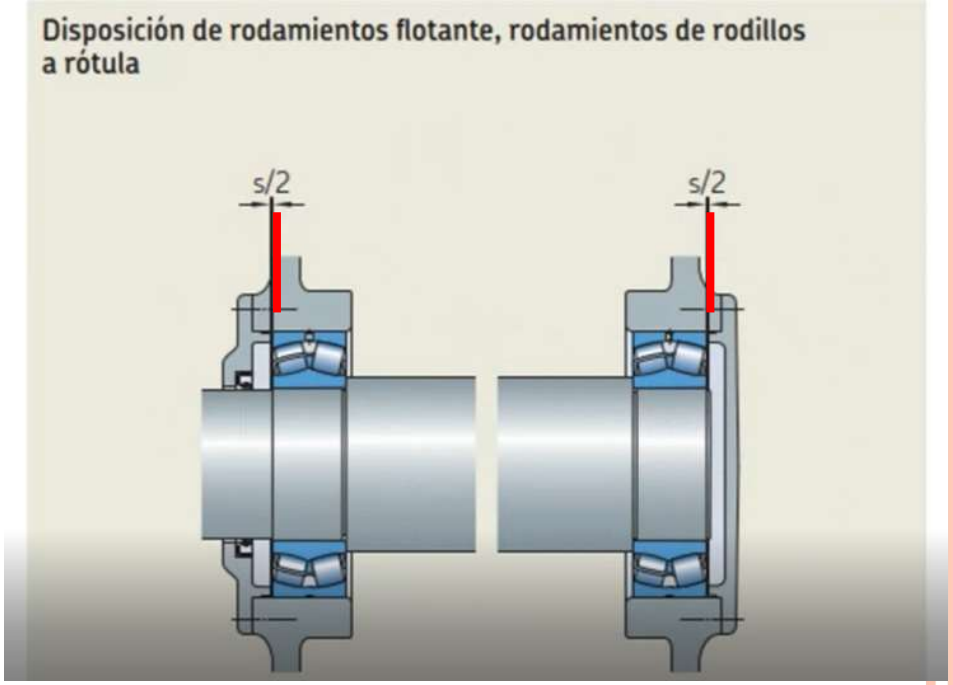
MONTAJE · Montajes típicos. Disposición de extremos.



Disposición fijo-flotante. (Habitual)

Fijo- Guía axialmente al eje, se retiene al eje entre hombro y tuerca y el alojamiento por anillos seguridad y tapa. Está anclado.

Libre- con holguras laterales (topes hombro eje y tapa alojamiento) para que cuando aumente a la temperatura debido a las fricciones debido al funcionamiento de la máquina y pueda dilatar el eje longitudinalmente sin que genere problemas en la máquina. Estas evitan tensiones longitudinales debido a la dilatación. El apoyo es flotante y el ajuste es con juego para que sea deslizante.

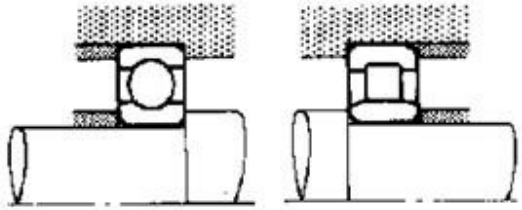
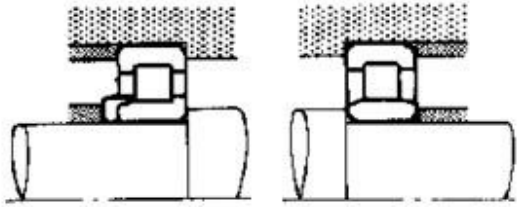
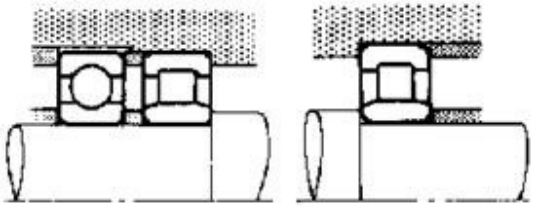
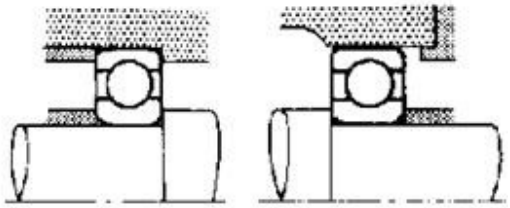


Disposición rodamientos flotantes o de fijación cruzada.

Cuando las longitudes son más cortas se puede utilizar el sistema de dos rodamientos flotantes. Configuración más sencilla con menos tapas, tuercas resaltes etc. Se dejan holguras ligeras para no bloquear axialmente los rodamientos (cruzarlos).. El eje flota con las pequeñas holguras.

COJINETES Y LUBRICACIÓN
6. CONDICIONANTES OPERATIVOS

MONTAJE : Montajes típicos. Disposición de extremos.

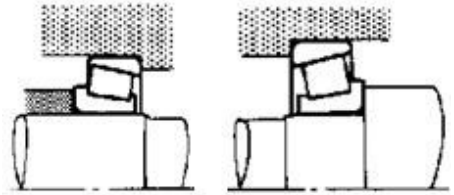
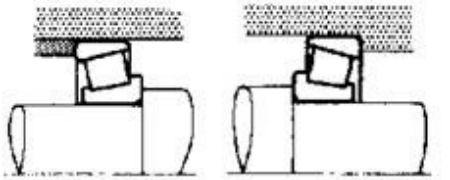
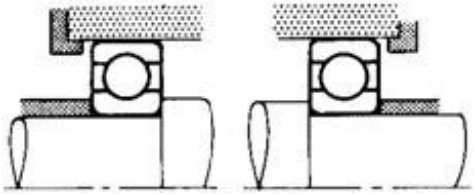
Ex. Fijo / Ex.Libre	Observaciones	Ejemplos de aplicaciones
	Distribución común Alta velocidad	Motores medios Ventiladores
	Carga radial alta y de impacto Carga axial reducida	Motores de tracción
	Carga radial alta, axial moderada Juego en el anillo exterior del rodamiento de bolas	Transmisiones para locomotoras diesel
	Distribución común Carga radial y axial	Bombas Transmisiones

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN
6. CONDICIONANTES OPERATIVOS

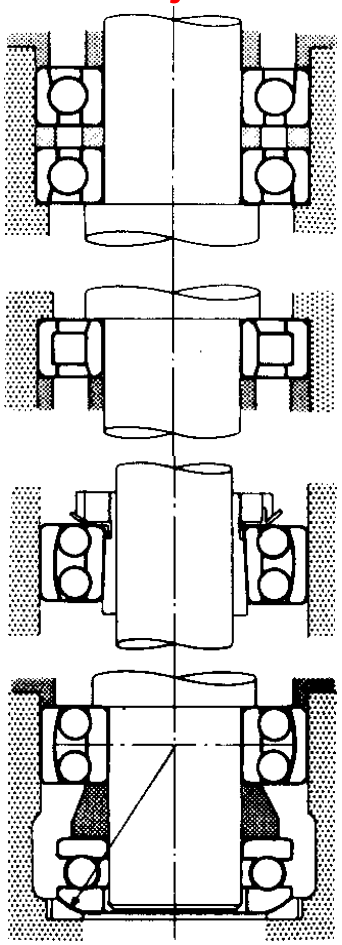
MONTAJE : Montajes típicos. Disposición de extremos.

Sin diferencia entre libre y fijo	Observaciones	Ejemplos de aplicaciones
 Espalda a Espalda	Alta duración bajo cargas pesadas o de impacto. Espalda a espalda: alta rigidez Cara a cara: conveniente si hay desalineación interna	Ejes de piñón de diferenciales, engranajes de reducción sinfín, ejes de automóviles
 Cara a Cara	Alta carga radial y de impacto.	Engranajes de reducción de equipo para la construcción
	Carga radial moderada Resorte contra el anillo exterior	Motores y bombas pequeñas

COJINETES Y LUBRICACIÓN
6. CONDICIONANTES OPERATIVOS

MONTAJE : Montajes típicos. Disposición de extremos.

Montaje vertical



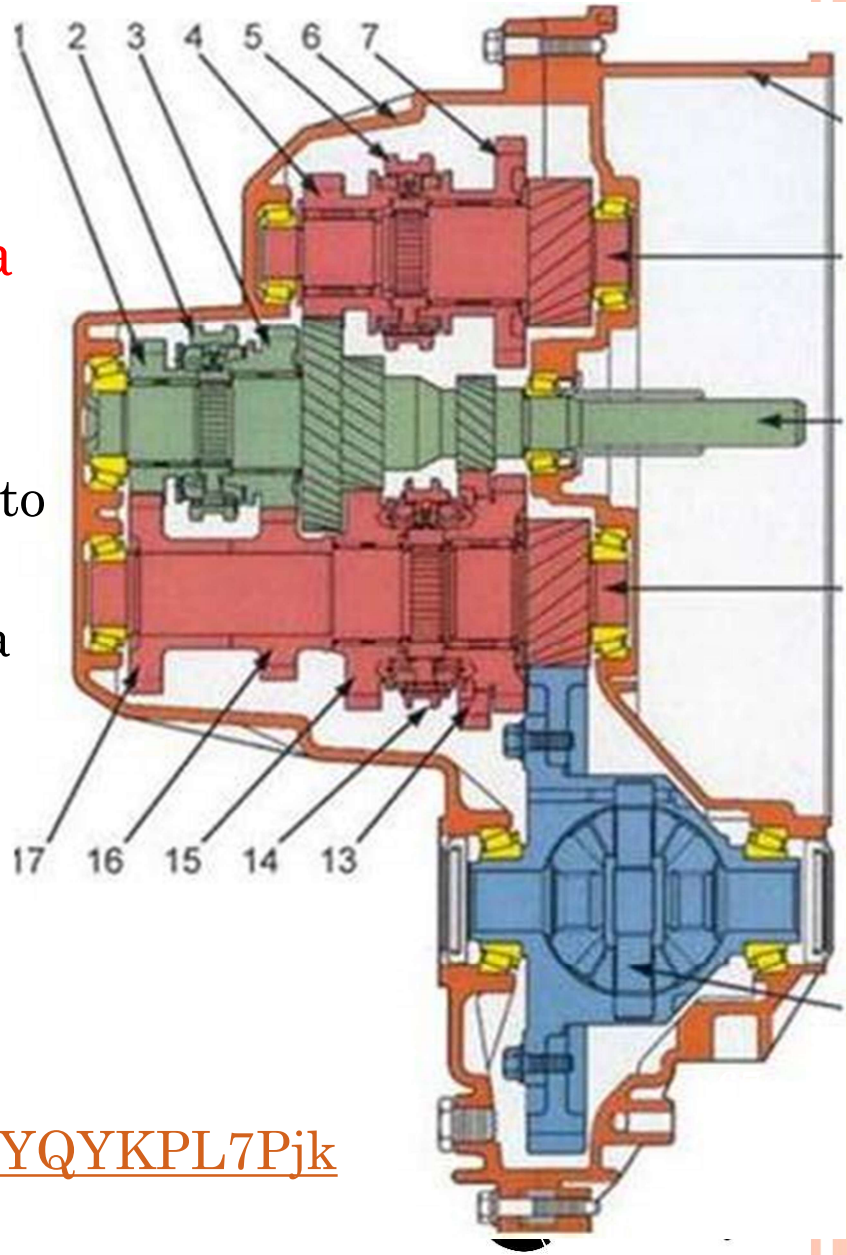
Observaciones	Ejemplos de aplicaciones
Extremo fijo: par dúplex de bolas de contacto angular El montaje puede invertirse	Motores eléctricos con ejes verticales.
Cuando se requiera autoalineación y hay carga radial ligera y carga axial moderada	Maquinaria vertical de hilatura y tejeduría

COJINETES Y LUBRICACIÓN
6. CONDICIONANTES OPERATIVOS

PRECARGA

- Su objetivo es eliminar la holgura interna para aumentar la duración a fatiga.
- Para rodillos cilíndricos
  - Montaje del cojinete en un eje o manguito cónico para expandir el aro interior
  - Utilización de un ajuste de interferencia para el aro exterior.
  - Uso de un cojinete con el aro exterior precontraído sobre los rodillos.
- Para rodillos cónicos
  - Precarga axial por medios mecánicos (tuerca y fijación, calas, etc)

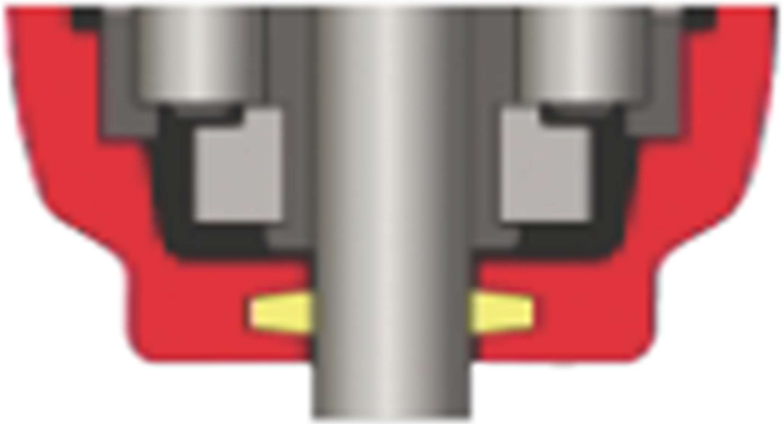
https://www.youtube.com/watch?v=sYQYKPL7Pjk
Montaje mecánico rodamiento.

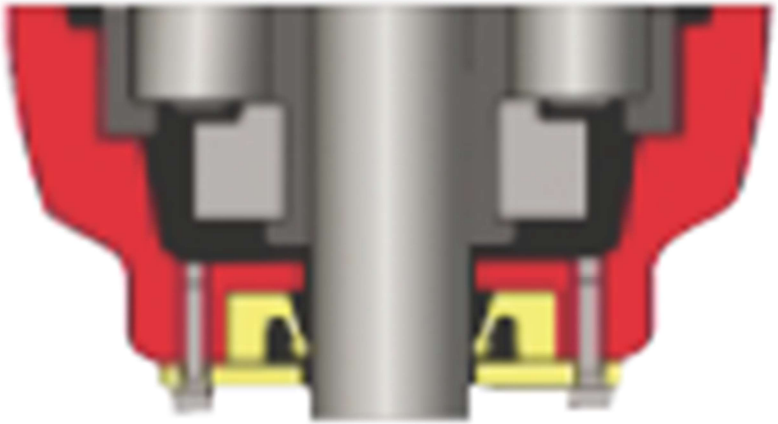


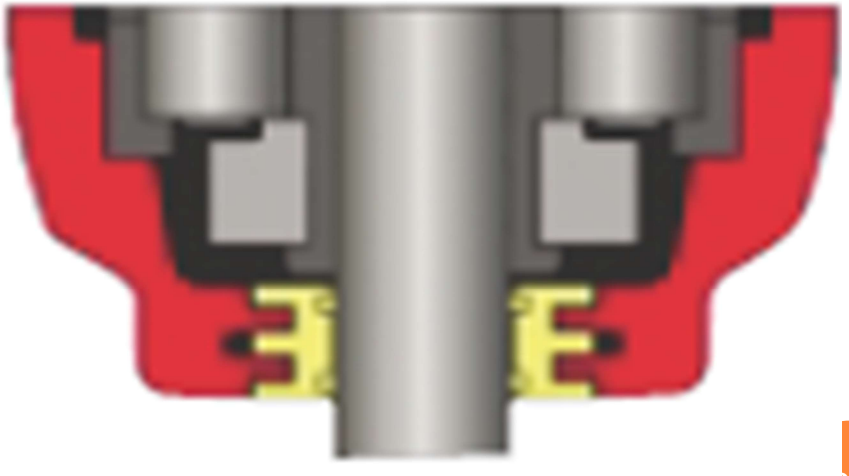
COJINETES Y LUBRICACIÓN
6. CONDICIONANTES OPERATIVOS

ALOJAMIENTO

- Para evitar el polvo, materias extrañas y retener el lubricante.
  - Sellos de fieltro
  - Sello comercial
  - Cierre de laberinto (o de forma)







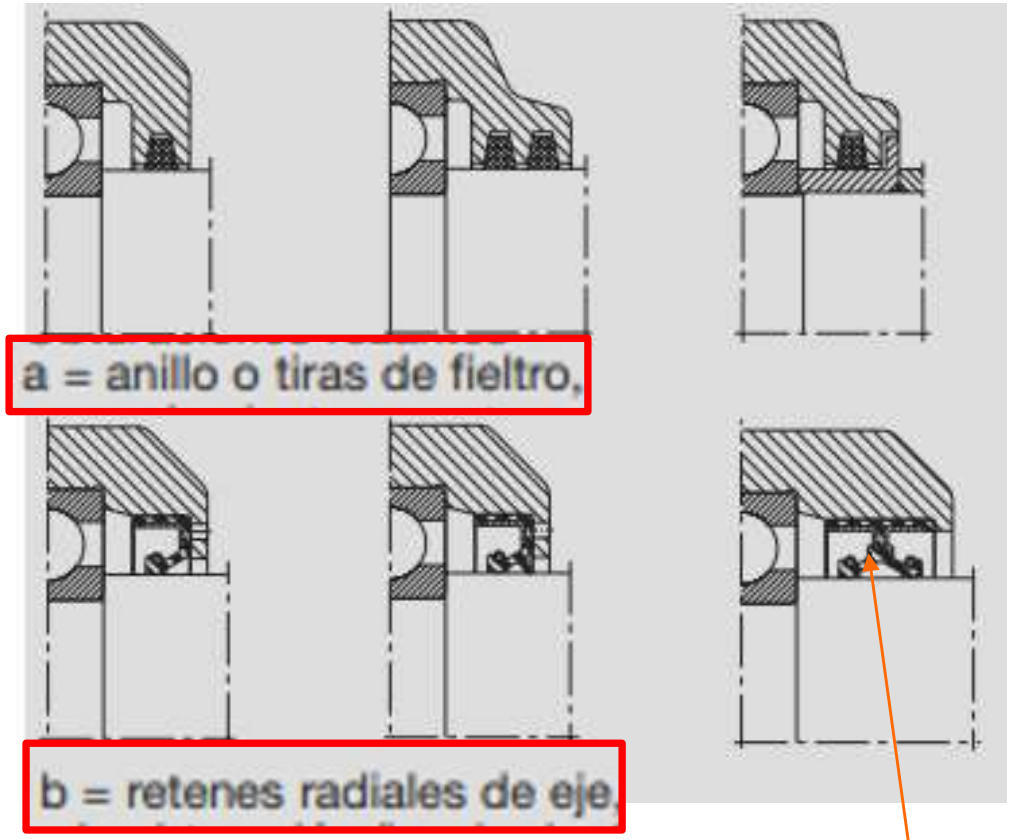
Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

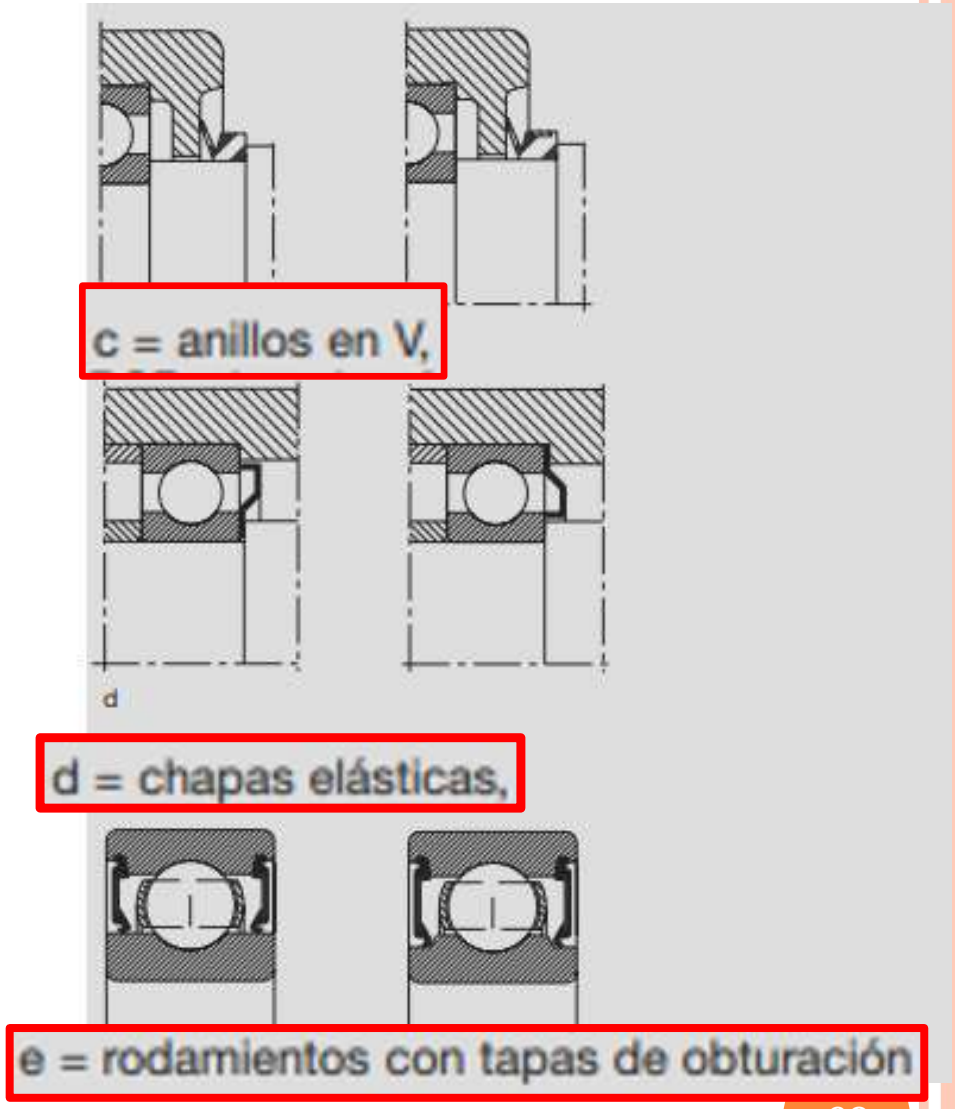
COJINETES Y LUBRICACIÓN

6. CONDICIONANTES OPERATIVOS

ALOJAMIENTO

- Para evitar el polvo, materias extrañas y retener el lubricante.





Bilabial

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

VIDA ÚTIL

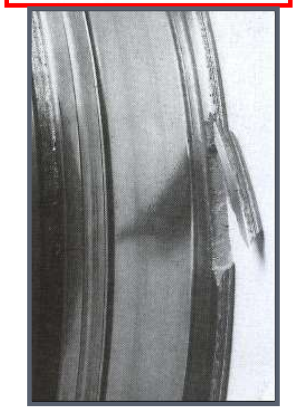
- Nº total de revoluciones o nº total de horas de giro a una velocidad constante dada, de operación del rodamiento, para que se desarrolle un tipo de fallo considerado.
- Principales motivos de fallo:
  - Mala lubricación
  - Contaminación
  - Montaje defectuoso
  - Manipulación descuidada
  - Fatiga, debida a tensiones complejas basadas en la teoría de Hertz.

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

Tensiones de contacto,
Descascarillan la superficie

CAUSAS FINAL DE VIDA. ROTURA O FALLO

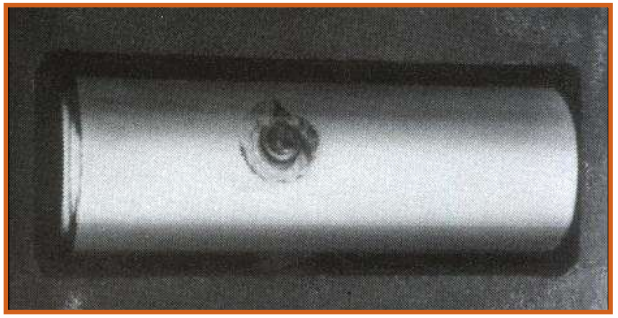
- Fatiga
- Desgaste
- Corrosión
- Lubricación inadecuada
- Suciedad
- Errores de montaje, golpes
- Paso de corriente eléctrica



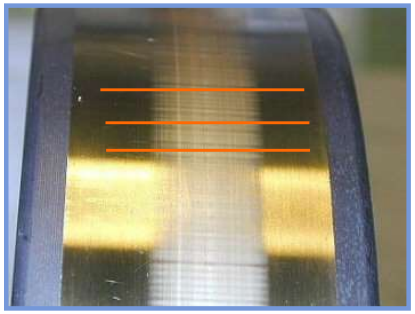
TENDENCIA: Rodamientos sin mantenimiento

HIPÓTESIS DE CÁLCULO

- Montaje correcto
- Lubricación adecuada
- Obstrucción perfecta



Perforación por corriente



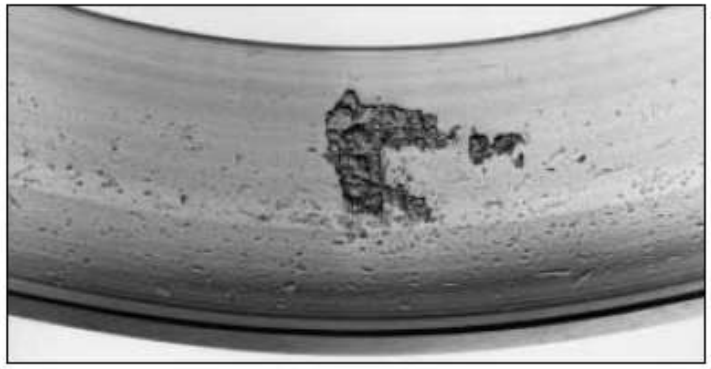
Desalineación de elementos.
Las marcar por las rpm implica frecuencia de un elemento que no esta equilibrado.

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

FATIGA

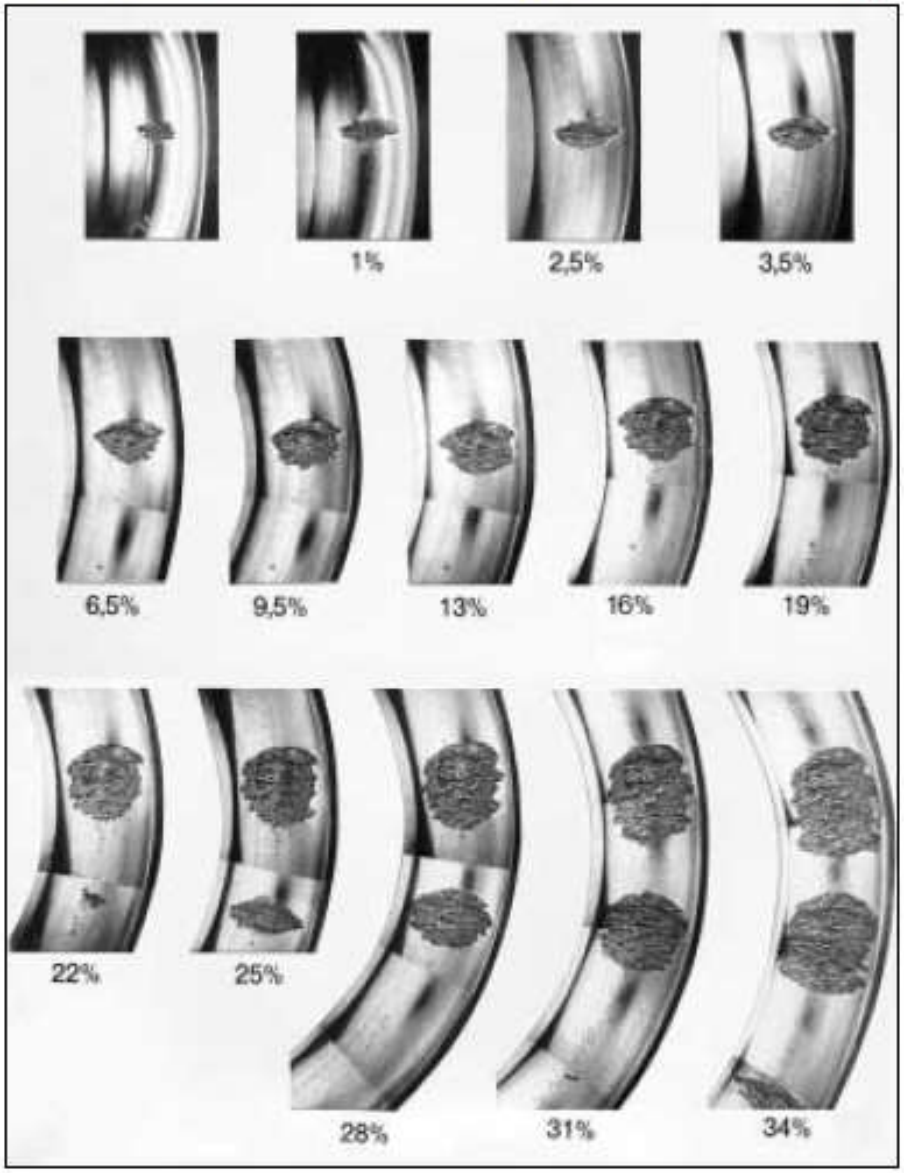
41: La fatiga clásica se pone de manifiesto en los hoyuelos (pitting) del camino de rodadura del aro interior de un rodamiento rígido de bolas. En la fase de deterioro avanzada se produce exfoliación de material en todo el camino de rodadura.

42: Deterioro avanzado por fatiga en un rodamiento rígido de bolas



43: Deterioro por fatiga en el camino de rodadura del aro exterior de un rodamiento de rodillos cónicos

8: Evolución de daños por fatiga en el camino de rodadura del aro interior de un rodamiento de bolas de contacto angular. El intervalo de tiempo entre las revisiones desde el inicio del daño está indicado en % del tiempo de duración nominal L_{10}

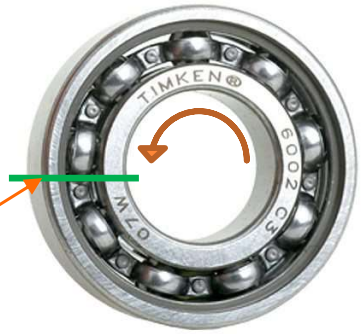


Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

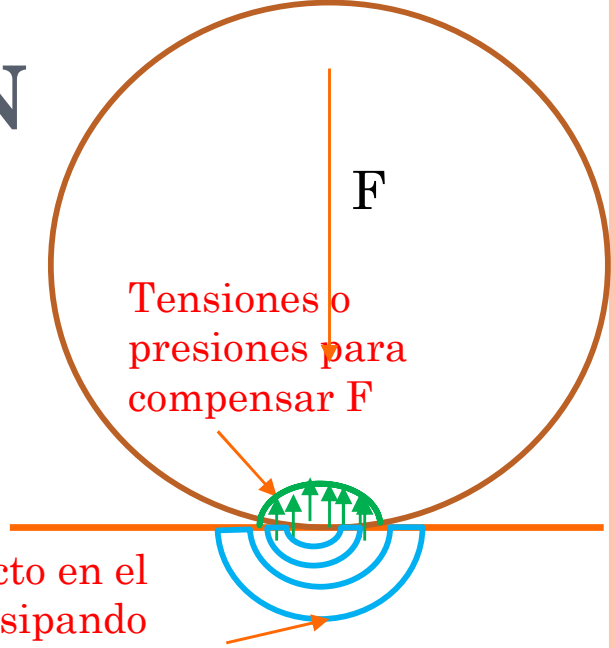
UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

FATIGA

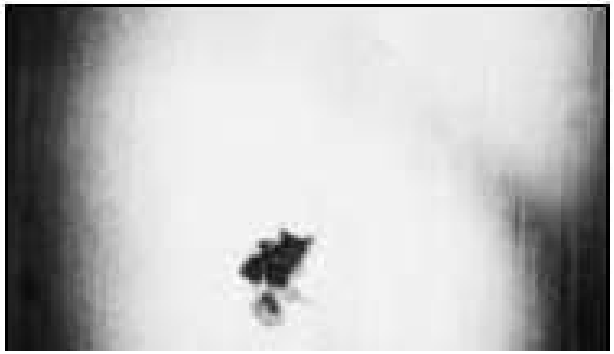


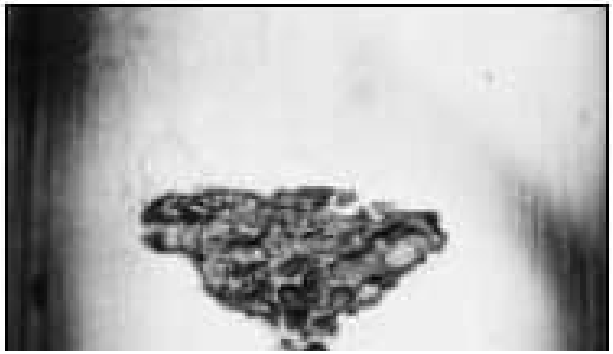
La presión en un punto va fluctuando al ir pasando las bolas, generando fatiga.

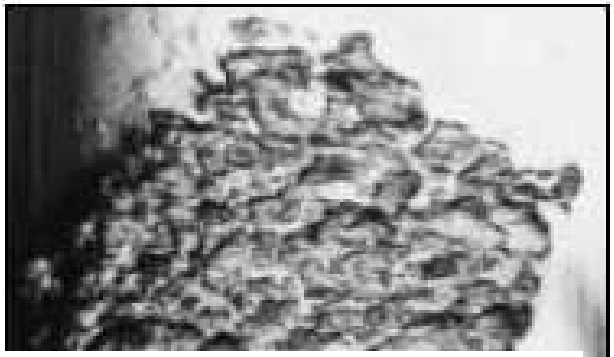


Presiones de contacto en el material. Se van disipando conforme se profundizan y distribuyen en el interior.

45: Los daños por fatiga debidos a indentaciones de cuerpos extraños se extienden en forma de V en el sentido de rodadura
a: Deterioro en el momento del reconocimiento;
b: Deterioro al cabo de 1.000 horas de servicio;
c: Deterioro al cabo de 1.200 horas de servicio





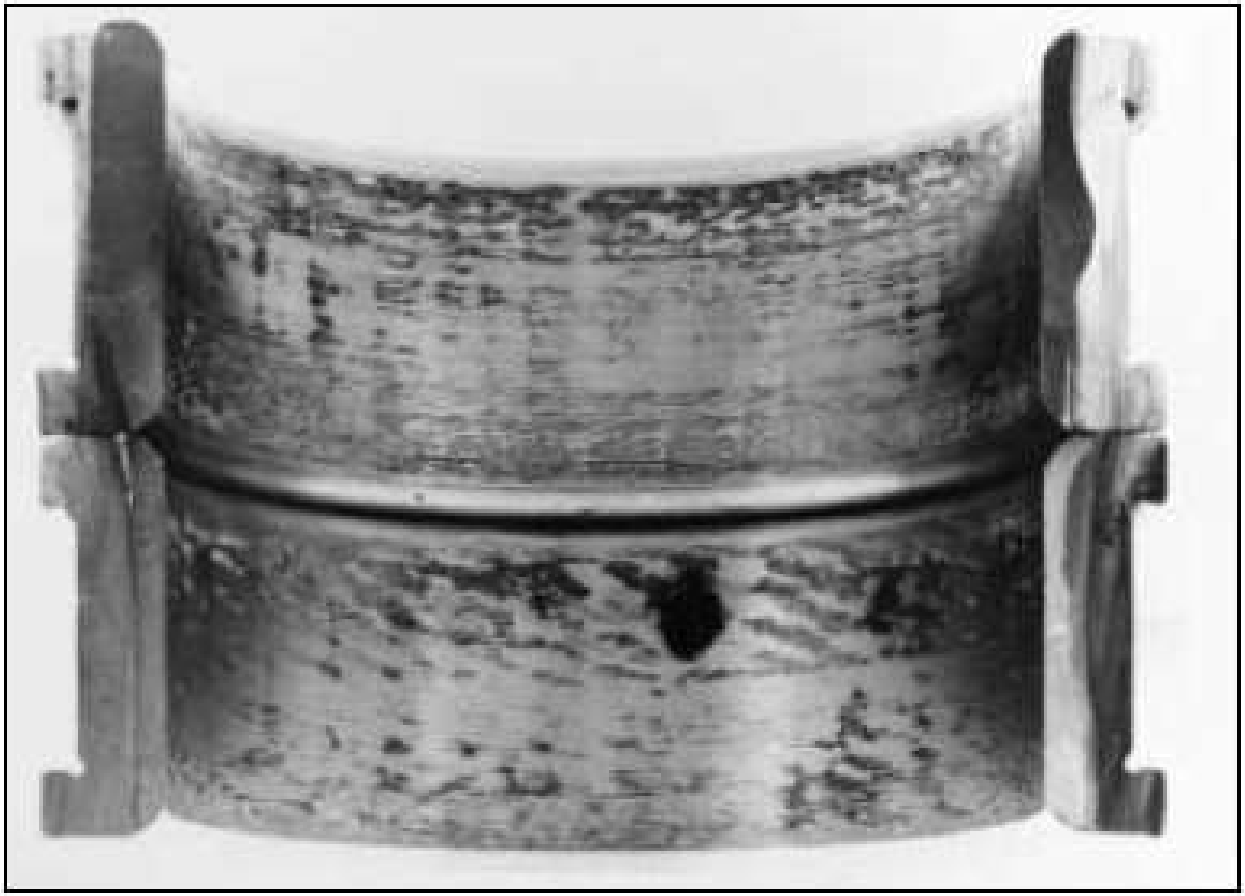


Fatiga de contacto. (rodamientos, engranajes, levas)Fatiga por contacto repetitivo. Presión de contacto del elemento rodante sobre su pista. La fuerza de elemento rodante será compensada por unas tensión de contacto en el aro que producirán unas presiones sobre el mismo fluctuantes.

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

OXIDACIÓN

13: Oxidación de contacto en el agujero del aro interior de un rodamiento de rodillos cilíndricos con asiento demasiado flojo

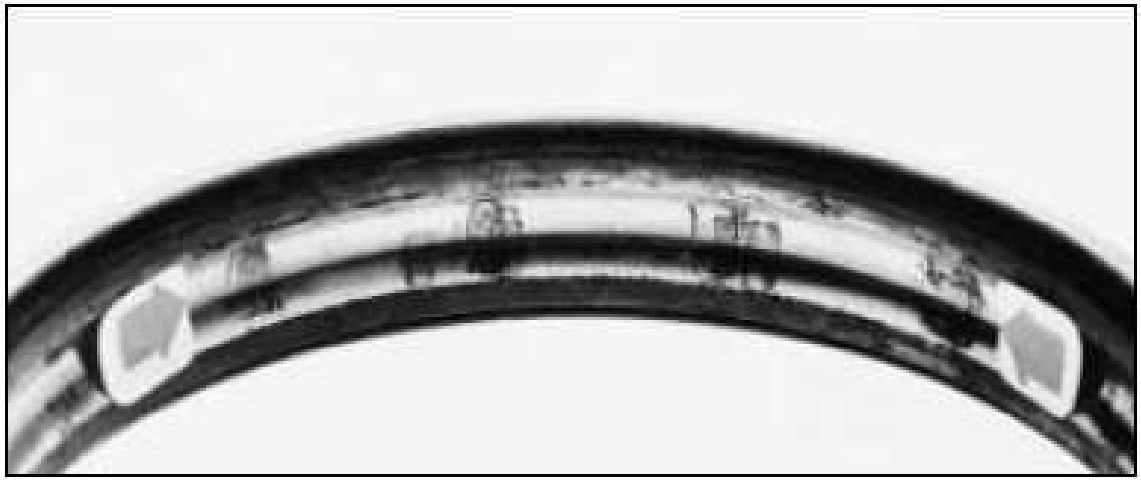


COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

OXIDACIÓN

53: Oxidación en el aro exterior de un rodamiento rígido de bolas cuya protección contra la corrosión ha sido destruida por la humedad

54: Excoriaciones producidas por oxidación en el camino de rodadura a la distancia de los cuerpos rodantes



COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

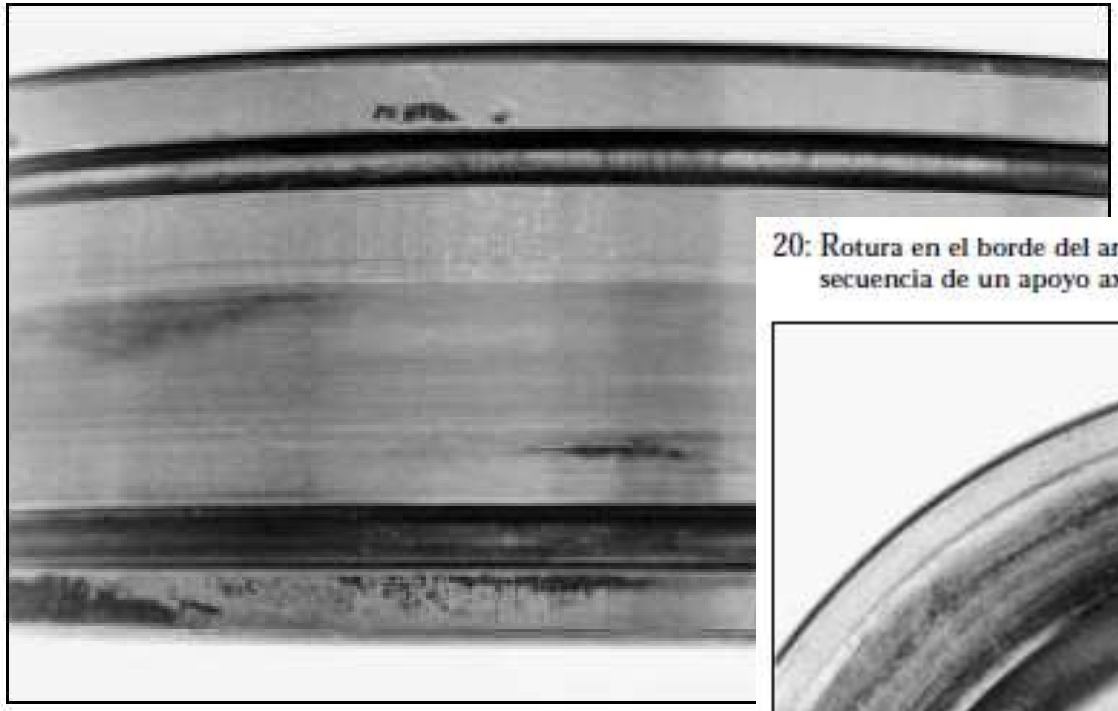
GRIPADO. DESGASTE POR DESLIZAMIENTO

16: Huellas de gripado en el agujero del aro interior como consecuencia del giro relativo del aro interior sobre el eje

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

APOYO INSUFICIENTE

19: Diámetro exterior del aro exterior, apoyado sólo en la mitad de su anchura

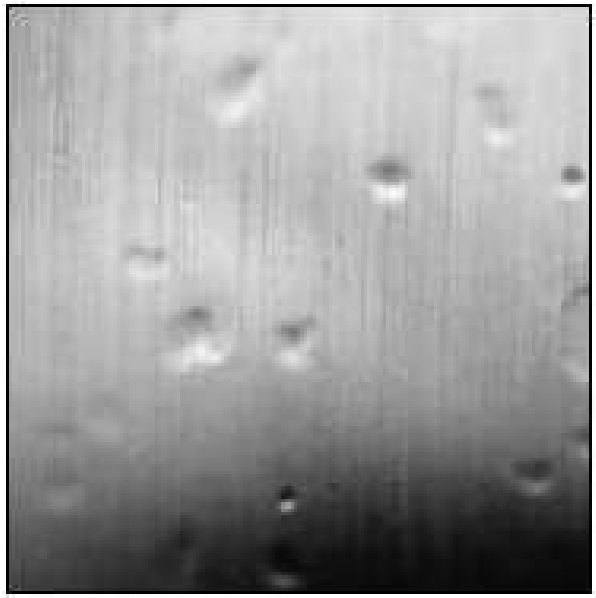


20: Rotura en el borde del aro interior de un rodamiento de rodillos cónicos a consecuencia de un apoyo axial insuficiente de la superficie frontal

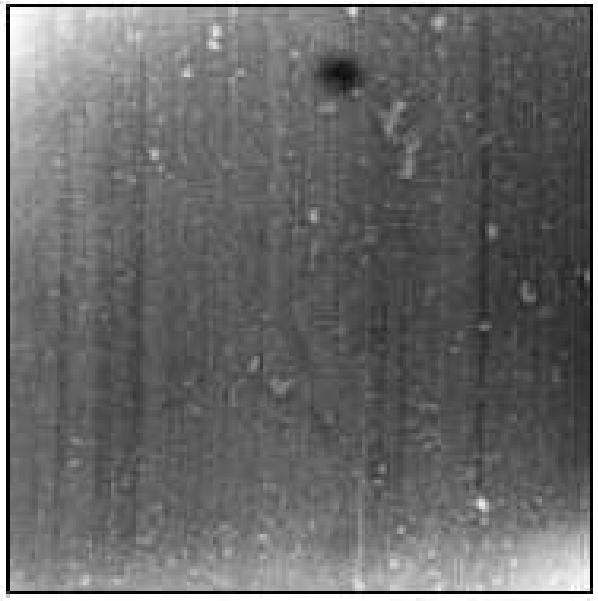
COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

CUERPOS EXTRAÑOS

30: Indentaciones de cuerpos extraños blandos



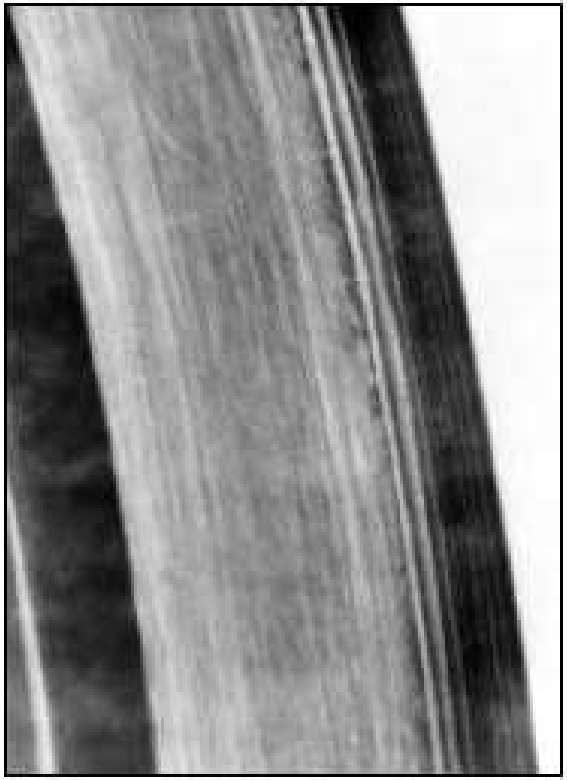
31: Indentaciones de cuerpos extraños de acero templado



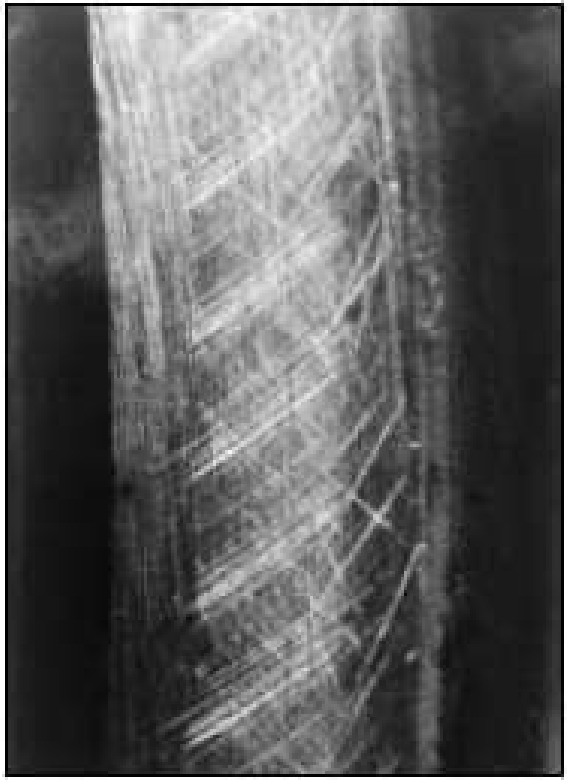
32: Indentaciones de cuerpos extraños minerales duros

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

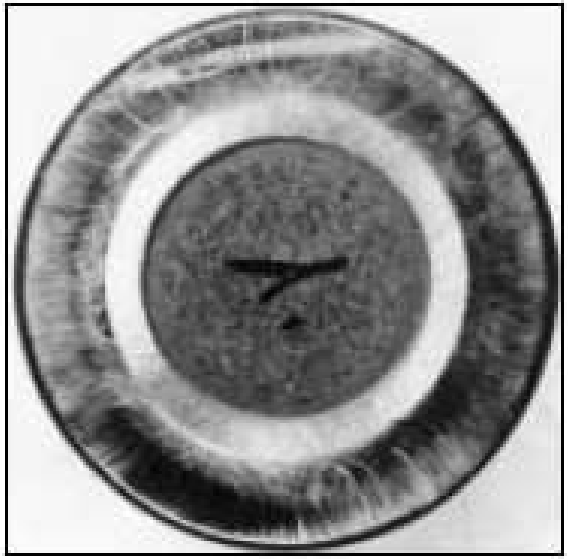
CUERPOS EXTRAÑOS



78: Huella de contacto normal en un rodamiento de rodillos cónicos



79: Rayas en el borde producidas por cuerpos extraños



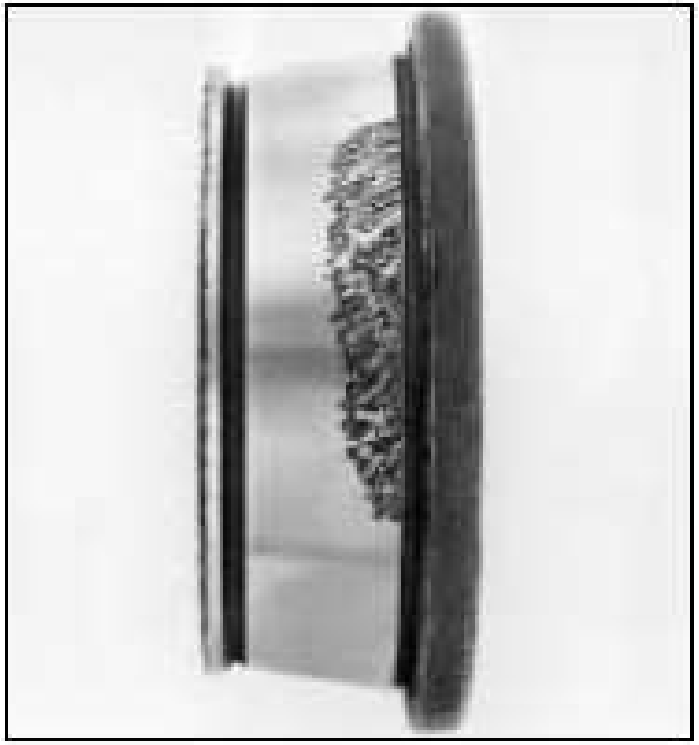
80: Rayas en la superficie frontal de un rodillo cónico

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

MONTAJE. RODADURAS

39: Huella de rodadura oblicua del aro interior de un rodamiento rígido de bolas



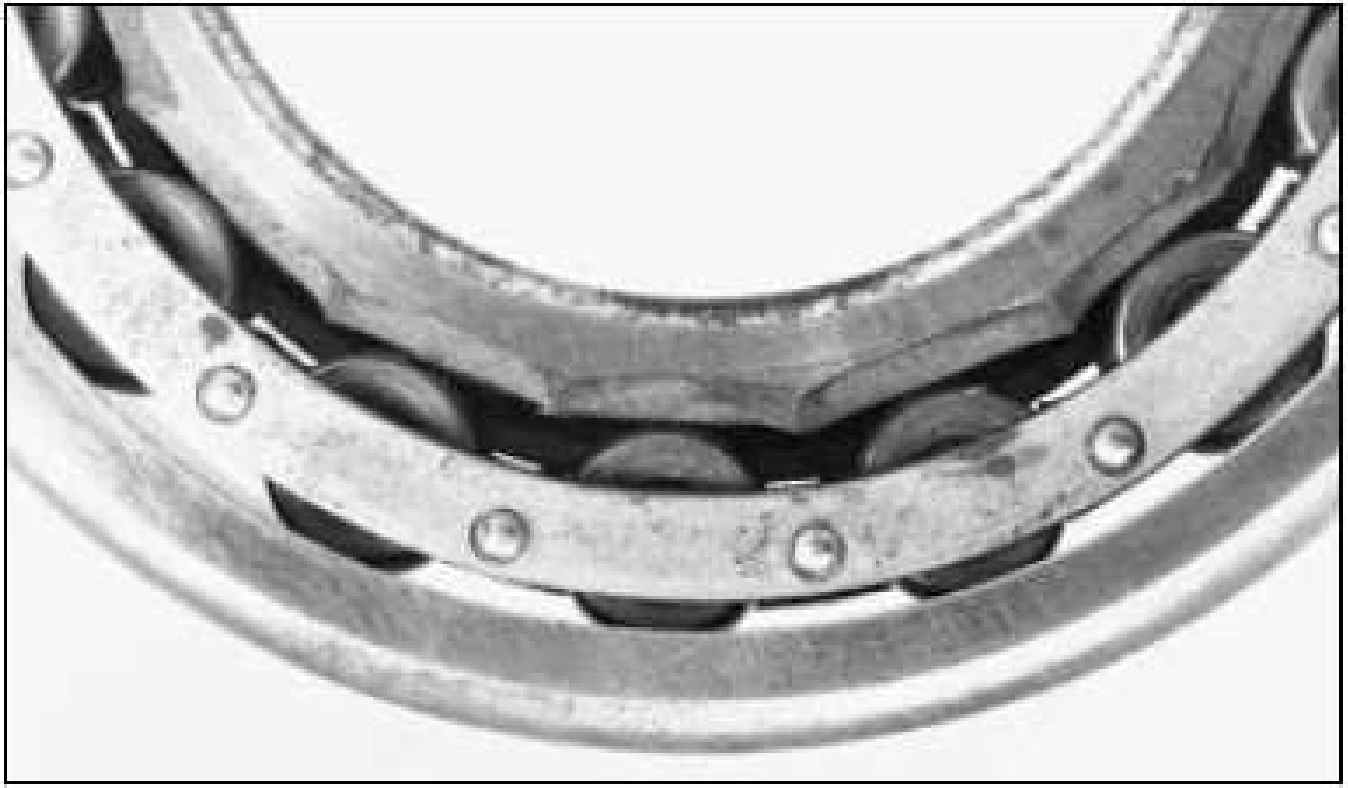
40: Huella de rodadura ladeada en un rodamiento de rodillos cónicos

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

MONTAJE INCORRECTO

85: Borde roto de un rodamiento oscilante con una hilera de rodillos. El aro interior ha sido calado en el eje a golpes de martillo



COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

CORROSIÓN

55: Daños superficiales debidos a la acción de medios agresivos. Las excoriaciones por corrosión toman por lo general un color negro.

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

PASO DE CORRIENTE ELÉCTRICA

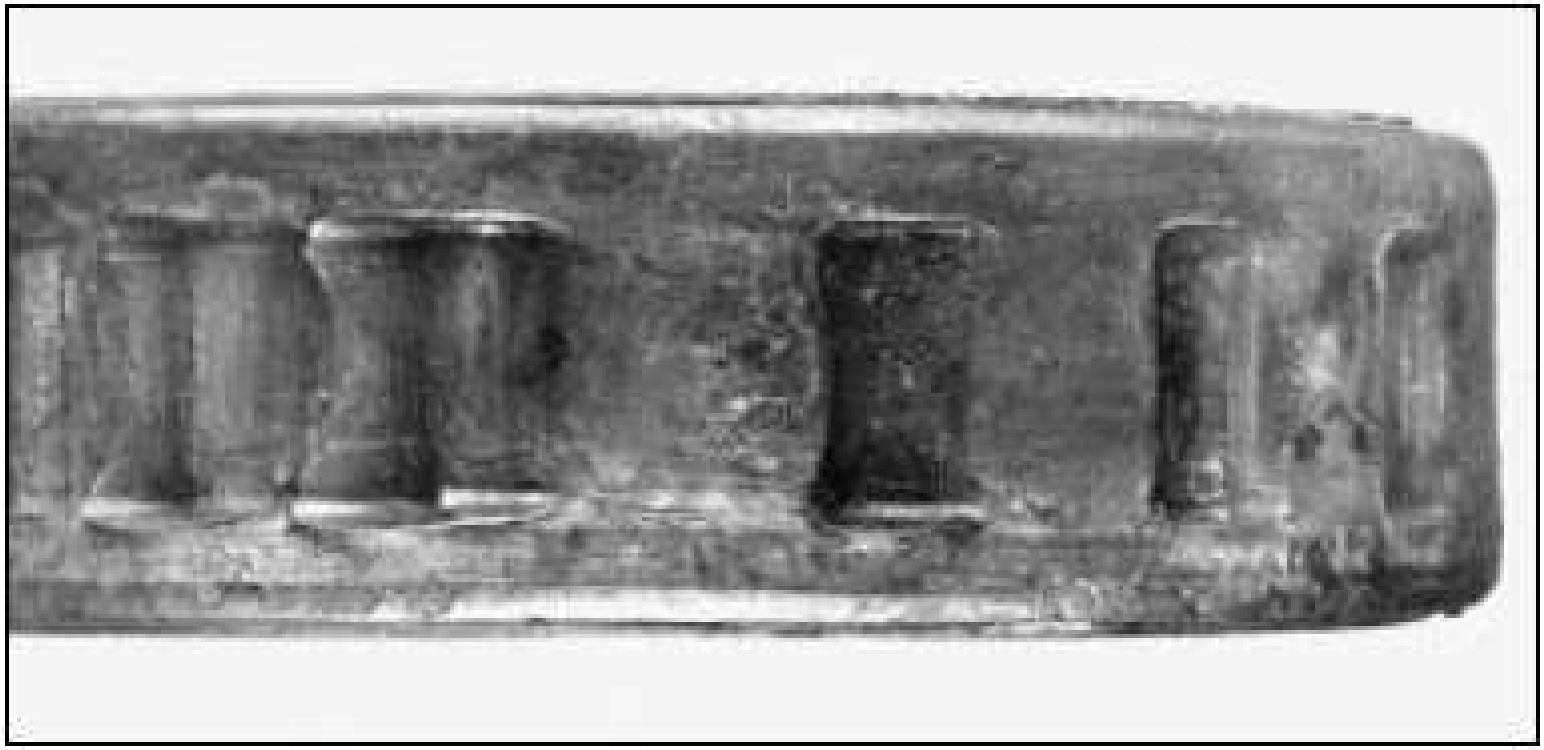
60: La formación de estrías en el camino de rodadura del aro exterior se ha generado por el paso continuado de corriente

59: Las descargas eléctricas han dado lugar a la formación de cráteres en el camino de rodadura de un rodamiento de rodillos cilíndricos.

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

FRICCIÓN

77: Al bloquearse un rodamiento de rodillos cilíndricos sobrecalentado por fricción, los rodillos se han hundido profundamente en el camino de rodadura



COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

VELOCIDAD EXCESIVA

3.5.2 Desgaste producido a consecuencia de una velocidad de giro excesivamente elevada

Características:

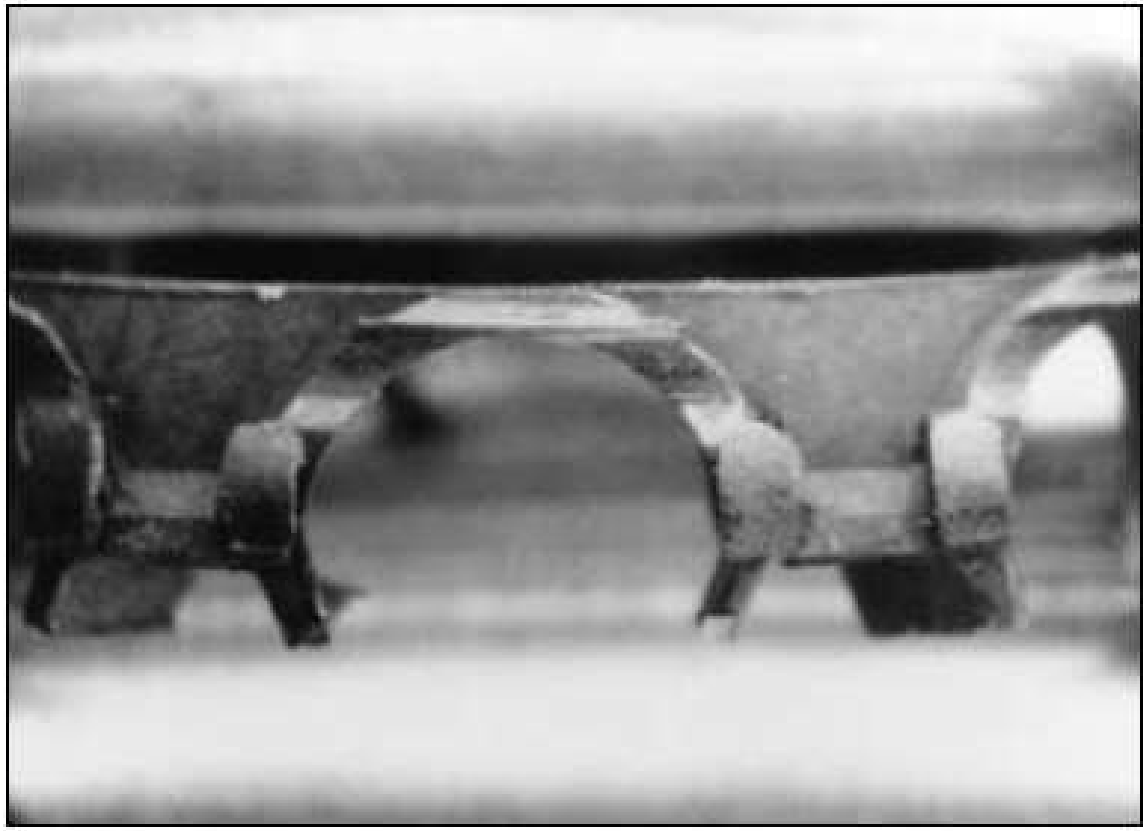
Desgaste en la superficie exterior de la jaula por roce con el aro exterior del rodamiento, figura 89.

Causas:

- Velocidad de giro excesivamente elevada
- Elección de una construcción de jaula inadecuada

Medidas correctoras:

- Emplear otra clase de jaula



89: Desgaste en la superficie exterior de la jaula por roce con el aro exterior del rodamiento

COJINETES Y LUBRICACIÓN

7. VIDA ÚTIL

CARGA EN RODAMIENTOS

- Dos grupos de cojinetes idénticos probados bajo cargas diferentes P1 y P2, tendrán duraciones L1 y L2.

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^a$$

[Revoluciones]

En los catálogos de fabricantes dan C

$$\frac{10^6}{L_2} = \left(\frac{P_2}{C}\right)^a$$

$a = 3$ Rodamientos de bolas

$a = \frac{10}{3}$ Rodamientos de rodillos

- Si una de las dos cargas es la llamada "capacidad de carga básica C", el número de vueltas que le corresponde es 1E6.

Los fabricantes C ó C10- 90% de los rodamientos aguantan 1E6 de ciclos

COJINETES Y LUBRICACIÓN

7. VIDA ÚTIL

C_0 = *Capacidad de carga estática no es C o C10*

CARGA EN RODAMIENTOS

C ó C10

Publicado por fabricante

- Capacidad de carga dinámica básica (C) (publicado x fabr.)
- Carga que soporta un grupo de cojinetes para una vida de un millón de revoluciones en la pista interna (L = 10^6 rev.)
- P es la carga constante aplicada.
- Valor de referencia para carga radial:

$$L_{10} = \frac{10^6}{60n}\left(\frac{C}{F}\right)^a$$

↑(h) ↑(r.p.m.)

Velocidad angular

$$\boxed{L_{10} = 10^6 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^a}$$

[Revoluciones]

L ó L10

$a = 3$ Rodamientos de bolas

$a = \frac{10}{3}$ Rodamientos de rodillos

Rodamientos solicitados dinámicamente

En el método de cálculo normalizado (DIN/ISO 281) para rodamientos solicitados dinámicamente, se parte de la fatiga del material (formación de pitting) como causa del deterioro del rodamiento. La fórmula de vida es:

$$L_{10} = L = \left(\frac{C}{P}\right)^p \left[10^6 \text{ revoluciones}\right]$$

siendo

$L_{10} = L$ vida nominal [10^6 revoluciones]

C capacidad de carga dinámica [kN]

P carga dinámica equivalente [kN]

p exponente de vida

L_{10} es la vida nominal en millones de revoluciones alcanzada o rebasada por lo menos de un 90% de un gran lote de rodamientos iguales.

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

Si la velocidad del rodamiento es constante, la duración puede expresarse en horas

$$L_{h10} = L_h = \frac{L \cdot 10^6}{n \cdot 60} [h]$$

siendo

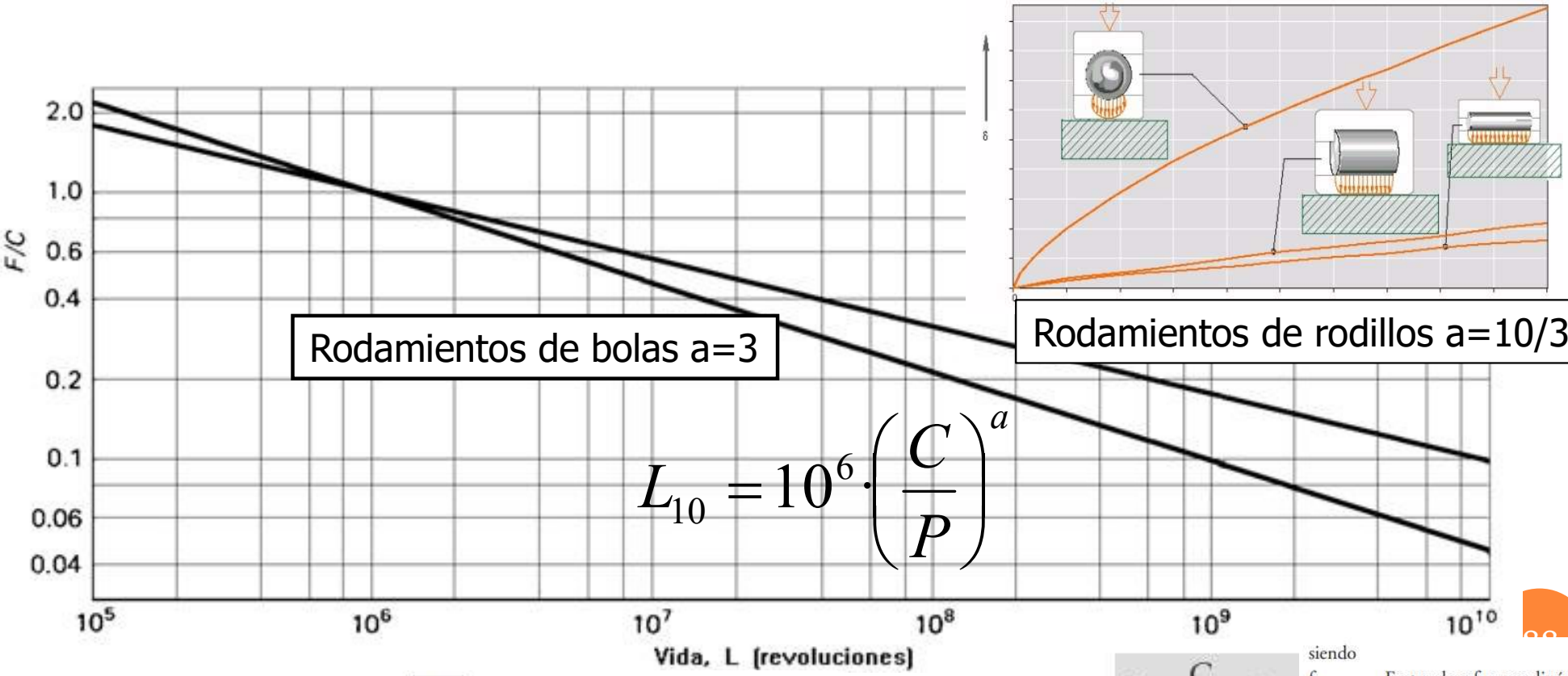
$L_{h10} = L_h$ vida nominal [h]

L vida nominal [10^6 revoluciones]

n velocidad (revoluciones por minuto)[min^{-1}].

CAPACIDAD DE CARGA DINÁMICA C

- Relaciona la fuerza transmitida con la vida
- Es la carga que origina un 10% de fallos a los 10^6 ciclos.



$$L_{10} = 10^6 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^a$$

$$\sqrt[p]{\frac{L_h}{500}} = \sqrt[p]{\frac{33\,1/3}{n}} \cdot \frac{C}{P}$$

$f_L = \sqrt[p]{\frac{L_h}{500}}$ factor de esfuerzos dinámicos

es decir $f_L = 1$ para una vida de 500 horas

$f_n = \sqrt[p]{\frac{33\,1/3}{n}}$ factor de velocidad

es decir, $f_n = 1$ para una velocidad de 33 $^1/_3$ min^{-1}.

$$f_L = \frac{C}{P} \cdot f_n$$

siendo

f_L Factor de esfuerzos dinámicos

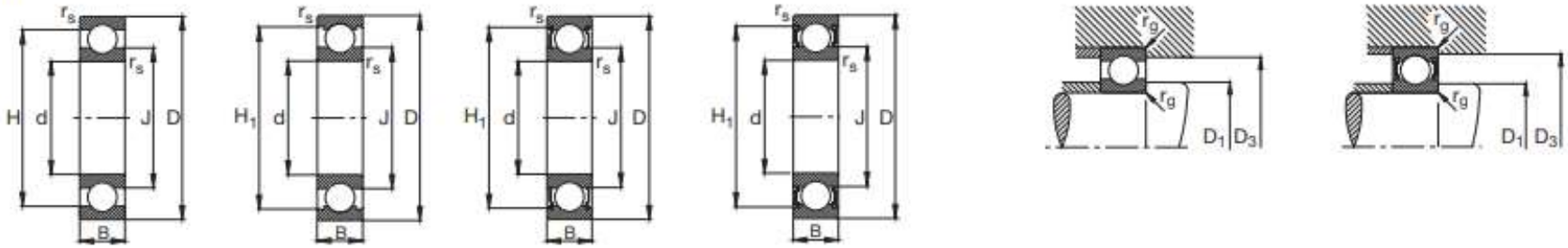
C Capacidad de carga dinámica [kN]

P Carga dinámica equivalente [kN]

f_n Factor de velocidad

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

Rodamientos FAG rígidos de bolas
de una hilera



2ZR (2Z) 2RSR (2RS)

Eje	Dimensiones d mm	D	B	r_s min	H	H_1	J	Peso kg	Capacidad de carga dyn. C kN	stat. C_0	Velocidad límite min^{-1}	Velocidad de referencia	Denominación abreviada Rodamiento FAG
3	3	10	4	0,15	7,7	8,2	5	0,001	0,64	0,22	53000	67000	623
	3	10	4	0,15	7,7	8,2	5	0,001	0,64	0,22	45000	67000	623.2Z
	3	10	4	0,15	7,7	8,2	5	0,001	0,64	0,22	32000		623.2RS
4	4	13	5	0,2	10,5	11,2	7	0,003	1,29	0,49	45000	53000	624
	4	13	5	0,2	10,5	11,2	7	0,004	1,29	0,49	38000	53000	624.2Z
	4	13	5	0,2	10,5	11,2	7	0,003	1,29	0,49	26000		624.2RS
	4	16	5	0,3	12,5	13,4	8,5	0,006	1,73	0,67	43000	43000	634
	4	16	5	0,3	12,5	13,4	8,5	0,006	1,73	0,67	36000	43000	634.2Z
	4	16	5	0,3	12,5	13,4	8,5	0,006	1,73	0,67	24000		634.2RS
5	5	16	5	0,3	12,5	13,4	8,5	0,005	1,32	0,44	43000	43000	625
	5	16	5	0,3	12,5	13,4	8,5	0,005	1,32	0,44	36000	43000	625.2Z
	5	16	5	0,3	12,5	13,4	8,5	0,005	1,32	0,44	24000		625.2RS
	5	19	6	0,3	15,5	16,7	10,8	0,008	2,55	1,04	38000	40000	635
	5	19	6	0,3	15,5	16,7	10,8	0,009	2,55	1,04	32000	40000	635.2Z
	5	19	6	0,3	15,5	16,7	10,8	0,008	2,55	1,04	22000		635.2RS
6	6	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,008	2,55	1,04	38000	38000	626
	6	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,009	2,55	1,04	32000	38000	626.2Z
	6	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,008	2,55	1,04	22000		626.2RS
7	7	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,007	2,55	1,04	38000	38000	607
	7	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,008	2,55	1,04	32000	38000	607.2Z
	7	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,007	2,55	1,04	22000		607.2RS
	7	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,011	3,25	1,37	36000	34000	627
	7	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,012	3,25	1,37	30000	34000	627.2Z
	7	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,011	3,25	1,37	20000		627.2RS
8	8	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,01	3,25	1,37	36000	36000	608
	8	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,011	3,25	1,37	30000	36000	608.2Z
	8	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,01	3,25	1,37	20000		608.2RS

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

$$L_{10} = 10^6 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^a$$

Feq.x factor servicio

La carga dinámica equivalente P [kN] es un valor teórico. Es una carga radial en rodamientos radiales y una carga axial en rodamientos axiales, que es constante en magnitud y sentido. P produce la misma vida que la combinación de cargas.

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

siendo

P	Carga dinámica equivalente	[kN]
F_r	Carga radial	[kN]
F_a	Carga axial	[kN]
X	Factor radial	
Y	Factor axial	

Los valores X e Y así como información sobre el cálculo de la carga dinámica equivalente para los distintos tipos de rodamientos están indicados en las tablas de rodamientos o en los textos preliminares.

CARGA EN RODAMIENTOS

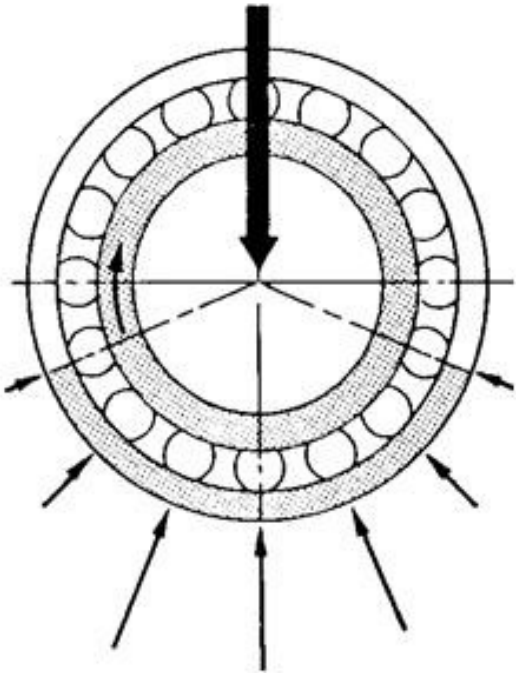
- Cargas axiales y radiales combinadas→ Fuerzas equivalentes para la ecuación anterior.
- $F_{eq} = x \cdot F_r + y \cdot F_a$

Equivalente radial axial

Nota: a veces hay un factor fo que premultiplica ese cociente (depende de fabricante de rodamientos)

f_o

		$F_a/F_r < e$		$F_a/F_r > e$	
F_a/C_o	e	x	y	x	y
< 0.014	0.19	1.00	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1.00	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1.00	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1.00	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1.00	0	0.56	1.71
0.070	0.27	1.00	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1.00	0	0.56	1.55
0.11	0.30	1.00	0	0.56	1.45
0.17	0.34	1.00	0	0.56	1.31
0.28	0.38	1.00	0	0.56	1.15
0.42	0.42	1.00	0	0.56	1.04
0.56	0.44	1.00	0	0.56	1.00



Rígido de bolas

▼ Factores radiales y axiales de los rodamientos rígidos de bolas

Juego normal de rodamiento

$\frac{f_0 \cdot F_a}{C_0}$	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y
0,3	0,22	1	0	0,56	2
0,5	0,24	1	0	0,56	1,8
0,9	0,28	1	0	0,56	1,58

▼ Factor f_o para rodamientos rígidos de bolas

Número característico del agujero	Factor f_0 Serie de rodamientos 618	160	161	60	62
3					12,9
4					12,2
5					13,2
6					13
7				13	12,4
8				12,4	13
9				13	12,4
00			12,4	12,4	12,1
01			13	13	12,3
02		13,9		13,9	13,1
03		14,3		14,3	13,1

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

$$F_{eq} = x \cdot F_r + y \cdot F_a$$

CARGA EN RODAMIENTOS

- Factor de servicio según funcionamiento

	Factor (multiplica a F_{eq})	
Servicio	Bolas	Rodillos
Carga uniforme	1.0	1.0
Impacto ligero	1.5	1.0
Impacto medio	2.0	1.3
Impacto fuerte	2.5	1.7
Impacto extremo	3.0	2.0

Rodamientos solicitados estáticamente

Bajo una solicitación a carga estática, se calcula el factor de esfuerzos estáticos f_s, para demostrar que se ha elegido un rodamiento con suficiente capacidad de carga.

$$f_s = \frac{C_0}{P_0}$$

siendo

f_s	factor de esfuerzos estáticos	
C_0	capacidad de carga estática	[kN]
P_0	carga estática equivalente	[kN]

El factor de esfuerzos estáticos f_s se toma como valor de seguridad contra deformaciones demasiado elevadas en los puntos de contacto de los cuerpos rodantes. Para rodamientos que deban girar con gran suavidad y facilidad, habrá que elegir un factor de esfuerzos estáticos f_s mayor. Si las exigencias de suavidad de giro son más reducidas, bastan valores más pequeños. En general se pretende conseguir los siguientes valores:

f_s = 1,5 ... 2,5 para exigencias elevadas

f_s = 1,0 ... 1,5 para exigencias normales

f_s = 0,7 ... 1,0 para exigencias reducidas

dyn. C kN	stat. C_0
0,64	0,22
0,64	0,22
0,64	0,22

- Capacidad de carga estática básica Co
  - Es la carga estática que provocará una deformación permanente en la pista y en el elemento giratorio en cualquier punto de contacto igual a 0.0001 veces el diámetro del elemento giratorio.
  - Si el rodamiento gira C (capacidad de carga dinámica básica) > Co pero habrá fatiga

Rodamientos solicitados estáticamente

Bajo una solicitación a carga estática, se calcula el factor de esfuerzos estáticos f_s, para demostrar que se ha elegido un rodamiento con suficiente capacidad de carga.

$$f_s = \frac{C_0}{P_0}$$

siendo

f_s	factor de esfuerzos estáticos	
C_0	capacidad de carga estática	[kN]
P_0	carga estática equivalente	[kN]

El factor de esfuerzos estáticos f_s se toma como valor de seguridad contra deformaciones demasiado elevadas en los puntos de contacto de los cuerpos rodantes. Para rodamientos que deban girar con gran suavidad y facilidad, habrá que elegir un factor de esfuerzos estáticos f_s mayor. Si las exigencias de suavidad de giro son más reducidas, bastan valores más pequeños. En general se pretende conseguir los siguientes valores:

f_s = 1,5 ... 2,5 para exigencias elevadas

f_s = 1,0 ... 1,5 para exigencias normales

f_s = 0,7 ... 1,0 para exigencias reducidas

Dimensionado

Rodamientos solicitados estáticamente · Ro

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a \qquad [kN]$$

siendo

P_0	Carga estática equivalente	[kN]
F_r	Carga radial	[kN]
F_a	Carga axial	[kN]
X_0	Factor radial	
Y_0	Factor axial	

Los valores para X_0 e Y_0 así como información sobre el cálculo de la carga estática equivalente para los distintos tipos de rodamientos están indicados en las tablas de rodamientos o en los textos preliminares.

2.5	1.7
3.0	2.0

La capacidad de carga estática C_0 [kN] según DIN ISO 76 – 1988, está indicada en las tablas para cada rodamiento. Esta carga (en rodamientos radiales una carga radial y en rodamientos axiales una carga axial y centrada) en el centro del área de contacto más cargada entre los cuerpos rodantes y el camino de rodadura produciría una presión superficial teórica p_0 de:

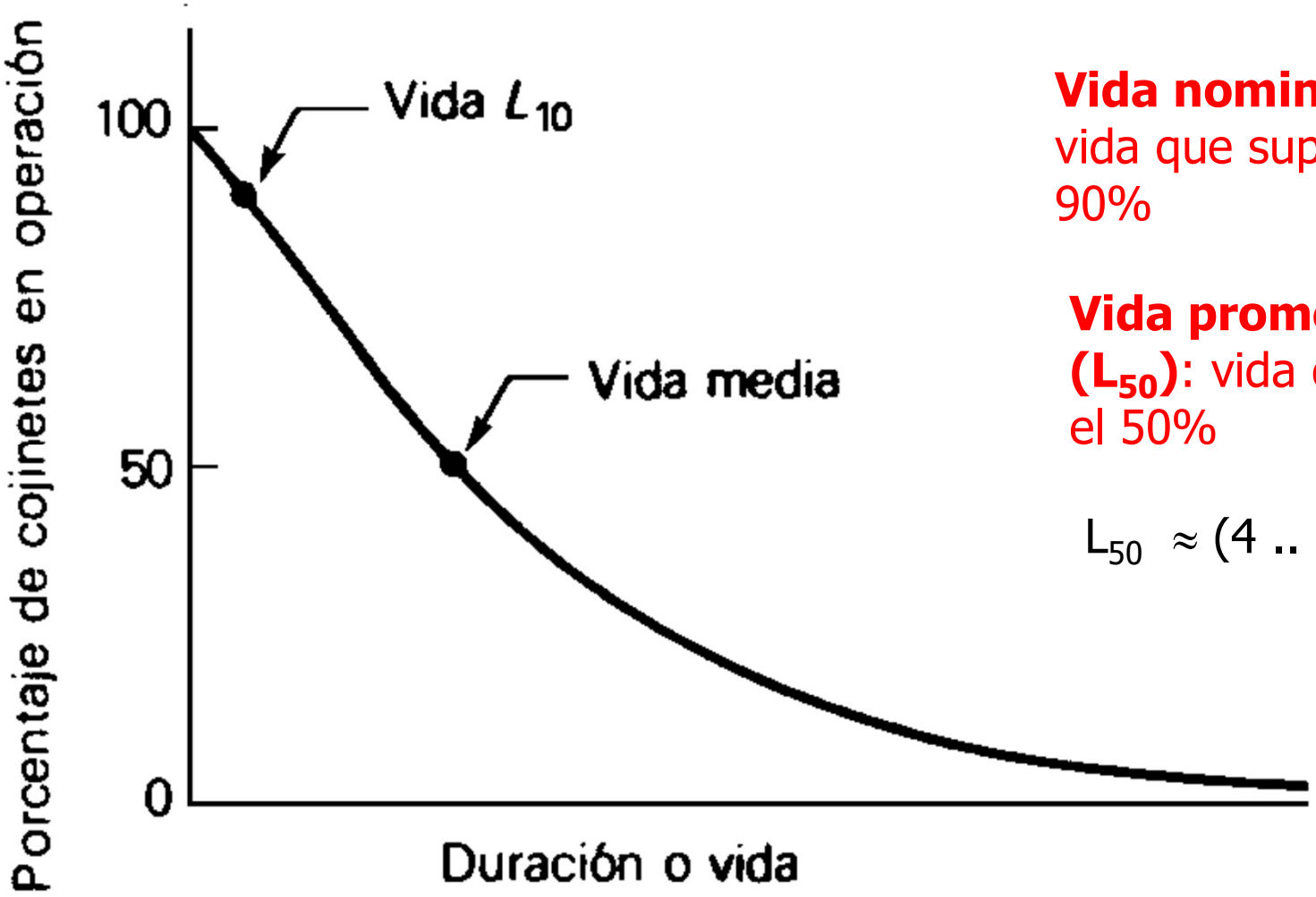
- 4600 N/mm² para rodamientos oscilantes de bolas
- 4200 N/mm² para todos los demás rodamiento de bolas
- 4000 N/mm² para todos los rodamientos de rodillos

Bajo una solicitación C_0 (correspondiente a f_s = 1) se origina una deformación plástica total del elemento rodante y el camino de rodadura de aprox. 1/10,000 del diámetro del elemento rodante en el área de contacto más cargada..

- Capacidad de carga estática básica Co
  - Es la carga estática que provocará una deformación permanente en la pista y en el elemento giratorio en cualquier punto de contacto igual a 0.0001 veces el diámetro del elemento giratorio.
  - Si el rodamiento gira C (capacidad de carga dinámica básica) > Co pero habrá fatiga

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

- Vida = número de revoluciones L hasta la fatiga



Vida nominal (L_{10}): vida que superará el 90%

Vida promedio (L_{50}): vida que supera el 50%

$L_{50} \approx (4 .. 5) \cdot L_{10}$

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

Según DIN ISO 281, la vida ampliada (modificada) L_{na} se determina según la fórmula:

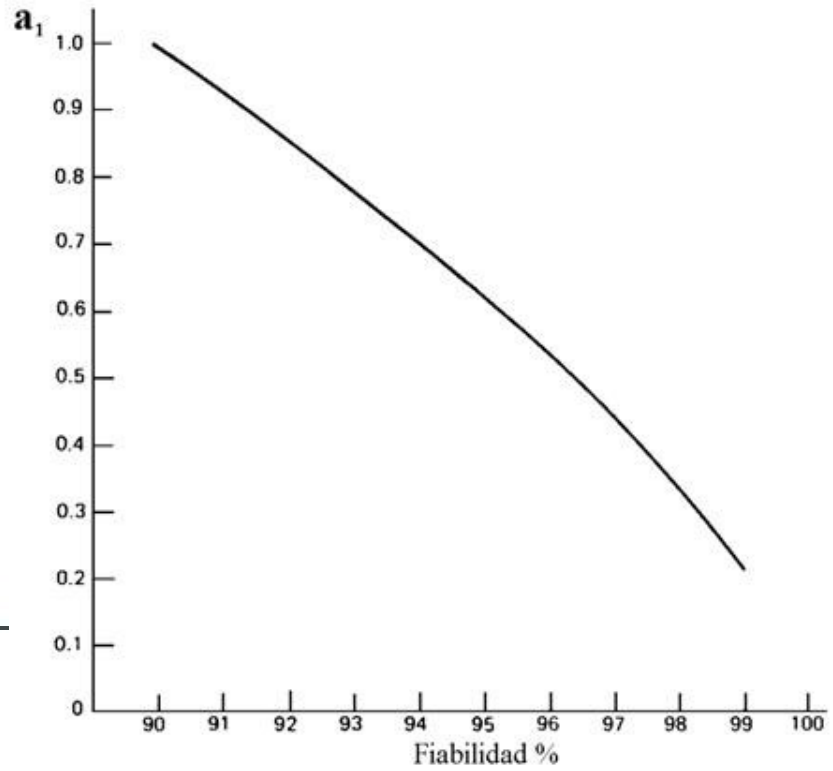
VIDA NOMINAL AJUSTADA

- Tiene en cuenta otros factores

$$L_{na} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_{10}$$

- a_1: Ajuste por **fiabilidad**

Fiabilidad %	Probabilidad de fallo n %	SKF vida nominal L_{nm}	Factor a_1
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,62
96	4	L_{4m}	0,53
97	3	L_{3m}	0,44
98	2	L_{2m}	0,33
99	1	L_{1m}	0,21



Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

VIDA NOMINAL AJUSTADA

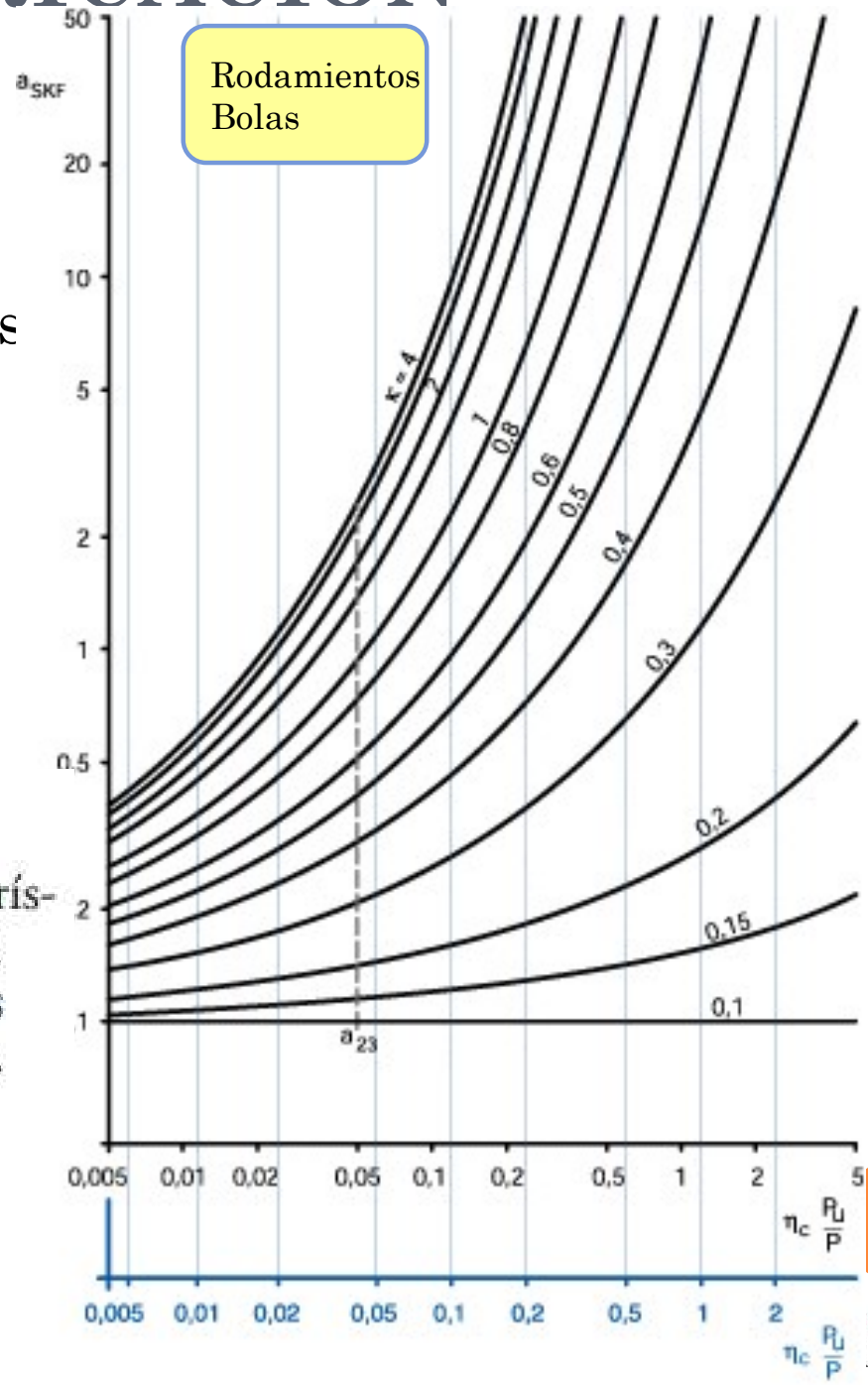
- Tiene en cuenta otros factores

$$L_{na} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_{10}$$

- a_2: Ajuste por **material**

Factor a_2 de material

Con el factor a_2 se tienen en cuenta las características del material y del tratamiento térmico. La norma admite factores $a_2 > 1$ para rodamientos con un grado de pureza muy elevado del acero.



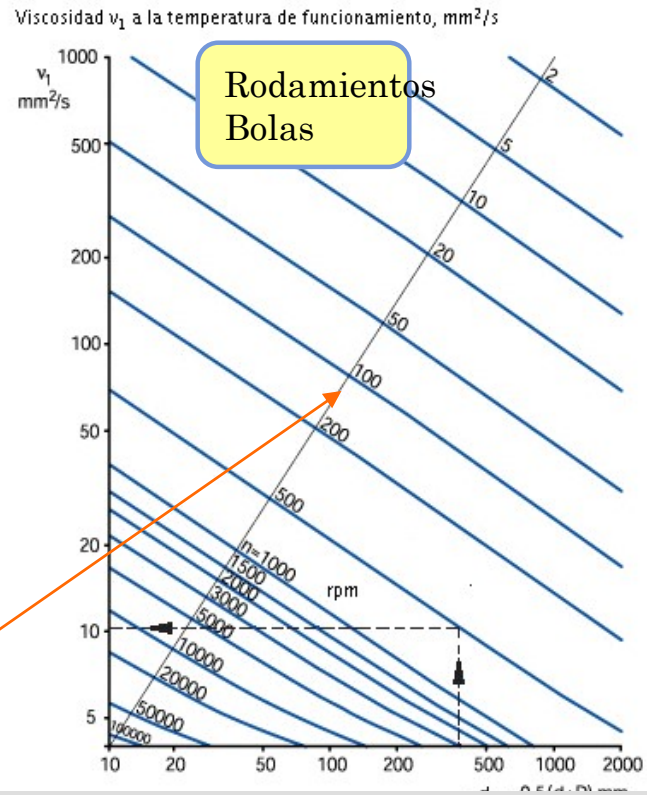
COJINETES Y LUBRICACIÓ
7. VIDA ÚTIL

VIDA NOMINAL AJUSTADA

- Tiene en cuenta otros factores

$$L_{na} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_{10}$$

- a_3: Ajuste por **lubricación**



Factor a_3 de condiciones de servicio

El factor a_3 tiene en cuenta las condiciones de servicio, sobre todo las condiciones de lubricación a velocidad y temperatura de servicio. La norma todavía no incluye valores para este factor.

Ratio de viscosidad κ

En el eje de abscisa del diagrama de la página. 45, se indica el ratio de viscosidad κ como la medida para la formación de una película lubricante.

$\kappa = \nu/\nu_1$

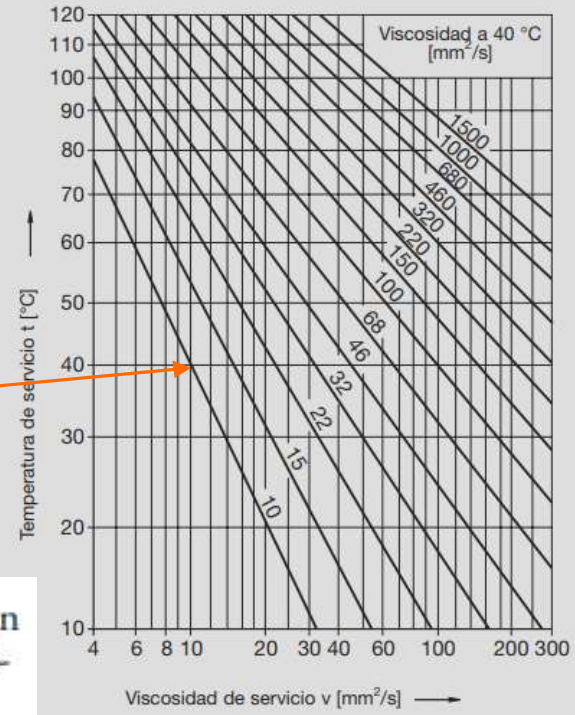
ν viscosidad de servicio del lubricante en el área de contacto de rodadura

ν_1 viscosidad relativa en función del diámetro y la velocidad

La **viscosidad relativa** ν_1 es determinada a partir del diagrama superior de la página 43 con ayuda del diámetro medio (D + d)/2 y de la velocidad de servicio.

La **viscosidad de servicio** ν de un aceite lubricante se obtiene del diagrama de viscosidad – temperatura (V-T) (diagrama inferior en página 43) en función de la temperatura de servicio t de la viscosidad (nominal) del aceite a 40 °C.

▼ Diagrama V-T para aceites minerales



COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

VIDA NOMINAL AJUSTADA

- Tiene en cuenta otros factores

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_{10}$$

- a_{23}: Ajuste por material y lubricación
- CATALOGO FAG

Vida ampliada L_{na}, L_{hna}

$L_{na} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L$ [10^6 revoluciones]

y

$L_{hna} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_h$ [h]

siendo

a_1 factor para la probabilidad de fallo (ver pág. 40)

a_{23} Factor para el material y las condiciones de servicio.
Debido a su interdependencia FAG llegó a unir los factores a_2 y a_3 indicados en la norma DIN ISO 281 en el factor a_{23}, siendo
$a_{23} = a_2 \cdot a_3$

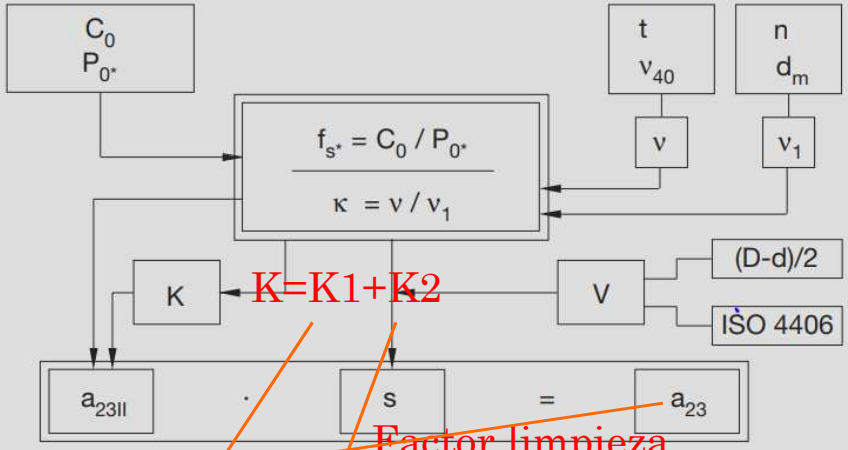
L vida nominal [10^6 revoluciones]

L_h vida nominal [h]

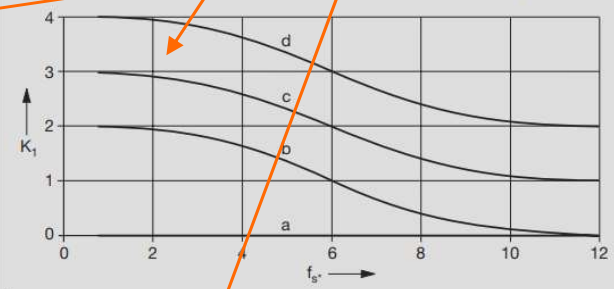
▼ Gráfico para determinar a_{23}

C_0 capacidad de carga estática
P_{0*} carga equivalente (página 41)
f_{s*} factor de esfuerzos estáticos
K =K1+K2 (diagramas en página 44)
a_{23II} valor básico (diagrama en página 45)
s factor de limpieza (diagramas en página 47))

t temperatura de servicio
ν_{40} viscosidad nominal
ν viscosidad de servicio (diagrama inferior en página 43)
n velocidad de servicio
d_m diámetro medio
ν_1 viscosidad relativa (ver diagrama superior en página 43)
κ ratio de viscosidad
V factor de contaminación (tabla en página 46)



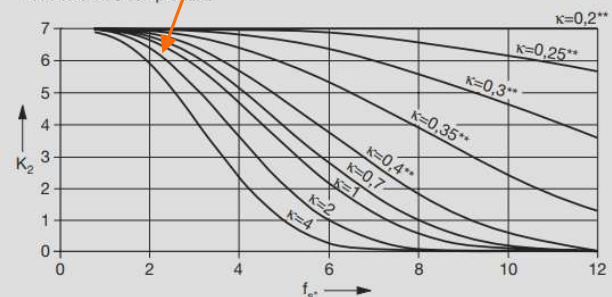
▼ Valor K_1 en función del factor de esfuerzos estáticos f_{s*} y del tipo de rodamiento



a Rodamientos de bolas
b Rodamientos de rodillos cónicos
Rodamientos de rodillos cilíndricos
c Rodamientos oscilantes de rodillos
Rodamientos axiales oscilantes de rodillos [3]
Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos [1], [3]
d Rodamientos de rodillos cilíndricos llenos de rodillos [1], [2]

[1] alcanzable sólo con lubricante filtrado correspondiente a V < 1; en otro caso, deberá tomarse $K_1 \geq 6$.
[2] al determinar ν debe tenerse en cuenta que el rozamiento es por lo menos el doble que en rodamientos con jaula, lo que significa una mayor temperatura del rodamiento.
[3] Debe tenerse en cuenta la carga mínima (página 500).

▼ Valor K_2 en función del factor fs* para lubricantes sin aditivos y para lubricantes con aditivos cuya eficacia en rodamientos no ha sido comprobada



K_2 es igual a 0 para lubricantes con aditivos de probada efectividad

** Con $\kappa \leq 0,4$ el desgaste dominará en el rodamiento si no es evitado a través de aditivos apropiados.

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

VIDA NOMINAL AJUSTADA

- Tiene en cuenta otros factores

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_{10}$$

- a_{23}: Ajuste por material y lubricación
- FAG

Vida ampliada L_{na}, L_{hna}

$L_{na} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L$ [10^6 revoluciones]

y

$L_{hna} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_h$ [h]

siendo

a_1 factor para la probabilidad de fallo (ver pág. 40)

a_{23} Factor para el material y las condiciones de servicio.
Debido a su interdependencia FAG llegó a unir los factores a_2 y a_3 indicados en la norma DIN ISO 281 en el factor a_{23}, siendo
$a_{23} = a_2 \cdot a_3$

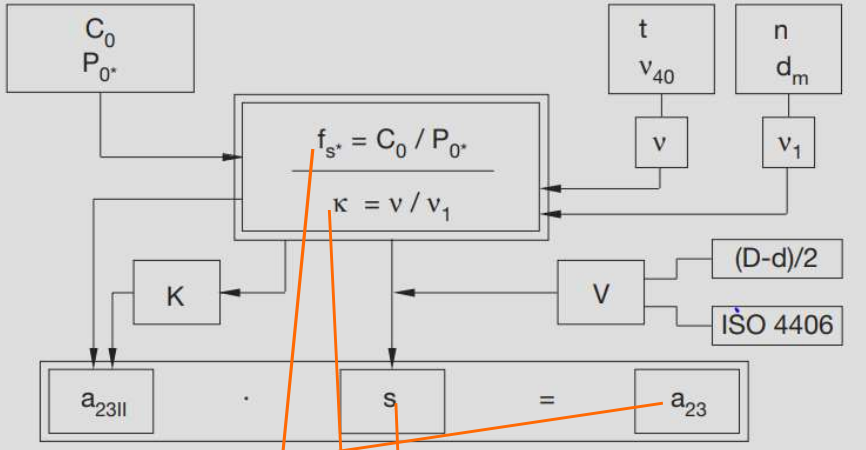
L vida nominal [10^6 revoluciones]

L_h vida nominal [h]

▼ Gráfico para determinar a_{23}

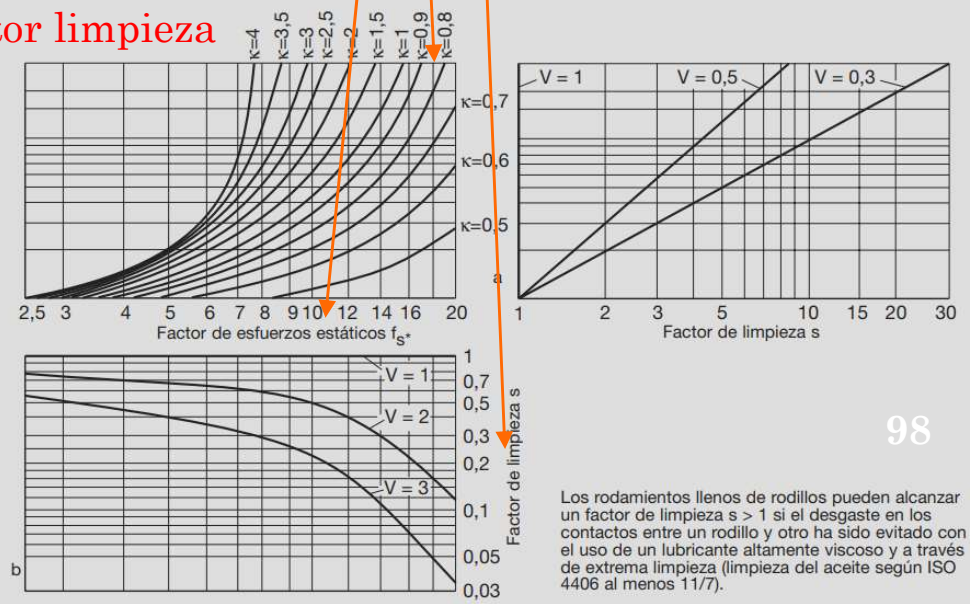
C_0 capacidad de carga estática
P_{0*} carga equivalente (página 41)
f_{s*} factor de esfuerzos estáticos
K =K1+K2 (diagramas en página 44)
a_{23II} valor básico (diagrama en página 45)
s factor de limpieza (diagramas en página 47))

t temperatura de servicio
ν_{40} viscosidad nominal
ν viscosidad de servicio (diagrama inferior en página 43)
n velocidad de servicio
d_m diámetro medio
ν_1 viscosidad relativa (ver diagrama superior en página 43)
κ ratio de viscosidad
V factor de contaminación (tabla en página 46)



Factor limpieza

▼ Diagrama para determinar el factor de limpieza s
a Diagrama para elevada limpieza (V = 0,5) hasta máxima limpieza (V = 0,3)
b Diagrama para un lubricante moderadamente contaminado (V = 2) y un lubricante severamente contaminado (V = 3)



Los rodamientos llenos de rodillos pueden alcanzar un factor de limpieza s > 1 si el desgaste en los contactos entre un rodillo y otro ha sido evitado con el uso de un lubricante altamente viscoso y a través de extrema limpieza (limpieza del aceite según ISO 4406 al menos 11/7).

COJINETES Y LUBRICACIÓN

7. VIDA ÚTIL

Funcionamiento.

$$ciclos = Vida(h) \times 60 \times velocidad\ angular$$

$$ciclos = Vida \times 60 \times velocidad\ angular \times \text{estimación incidencia en funcionamiento.}$$

RECOMENDACIONES PARA LA VIDA

Elementos específicos de máquinas

Tipo de aplicación	Vida (horas·1000)
Instrumentos y similares de uso infrecuente	Hasta 0.5
Motores para aviación	0.5 - 2
Maquinas de periodos de servicio cortos o intermitentes, donde la interrupción del servicio es de poca importancia	4 - 8
Máquinas de uso intermitente en las que su funcionamiento fiable sea de gran importancia	8 - 14
Máquinas con servicios de 8 h que no se usan siempre a plena carga	14 - 20
Máquinas con servicios de 8 h que se usan a plena carga	20 - 30
Máquinas de servicio continuo las 24 h	50 - 60
Máquinas de servicio continuo las 24 h, en las que el funcionamiento fiable sea de extrema importancia	100 - 200

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

COJINETES Y LUBRICACIÓN
7. VIDA ÚTIL

Se considera el caso critico.
Planes de mantenimiento.

VIDA PARA CARGAS VARIABLES

- Rodamientos sometidos a cargas variables

[Horas]
[Sup. Vel. n Constante]

$$L_{10} = \frac{10^6}{60n}\left(\frac{C}{F}\right)^q \Rightarrow C^q = \frac{60nL_{10}}{10^6}F^q$$

↑(h) ↑(r.p.m.)

- Si en cada fracción de vida, y para cada estado de carga "**m**", con tiempo de actuación t_m se tiene: velocidad n_m y carga F_m, para el conjunto de los estados se tiene:

$$C^q = \frac{60L_{10}}{10^6}\sum_{m=1}^{i} t_m n_m F_m^q$$

- No tiene en cuenta el orden de aplicación de cargas

COJINETES Y LUBRICACIÓN
8. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

- Carga: Dirección, magnitud y ciclos
- Velocidad de giro
  - La generación de calor y la carga definen la velocidad máxima
  - También puede estar limitada por el lubricante y la jaula
- Condiciones del ambiente, en unión con los sellos y retenes externos.
- Lubricación
- Desalineación
- Consideraciones de montaje y desmontaje

COJINETES Y LUBRICACIÓN
8. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

La matriz no ofrece más que una orientación aproximada de modo que cada caso requiere una selección más calificada según la información dada en las páginas anteriores o la información más detallada de los textos que preceden a cada sección de tablas.

Símbolos

+++ excelente
++ bueno
+ aceptable
– pobre
-- inadecuado
← simple efecto
←→ doble efecto

Diseño

1 Agujero cónico
2 Placas de protección u obturación
3 Autoalineable
4 No desmontable
5 Desmontable

Características

Rodamiento adecuado para

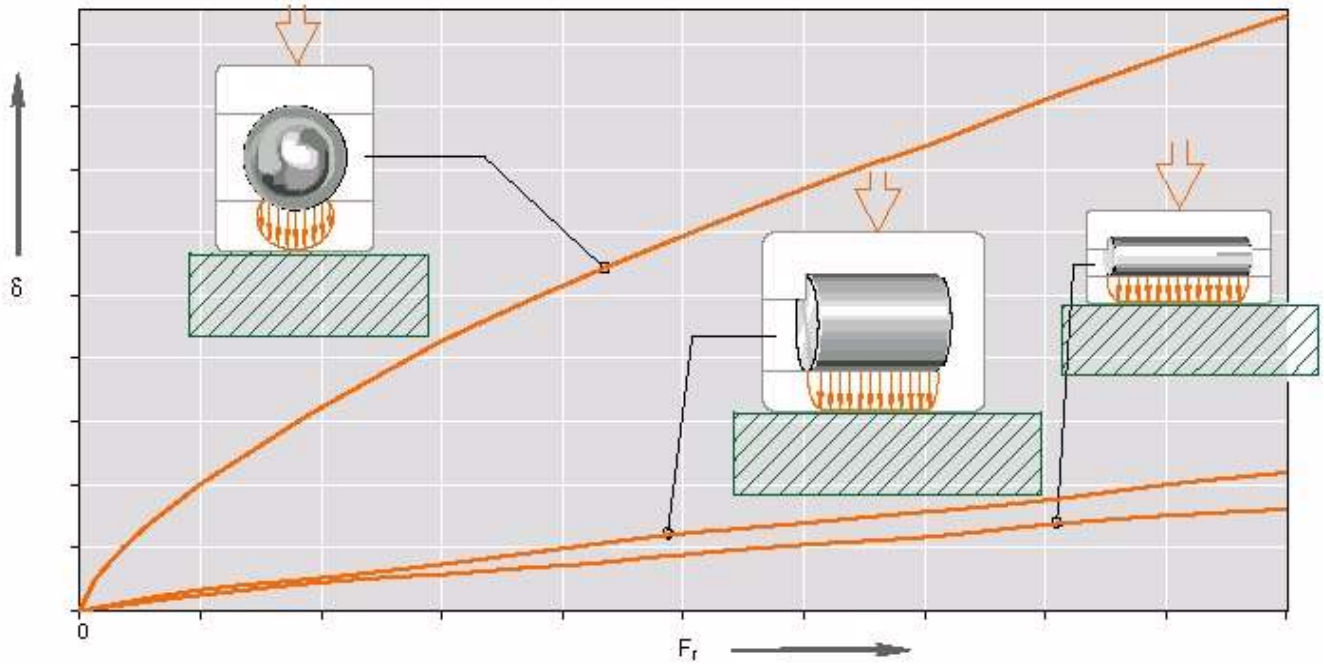
6 Carga puramente radial
7 Carga puramente axial
8 Carga combinada
9 Momentos
10 Alta velocidad
11 Alta precisión de funcionamiento
12 Alta rigidez
13 Funcionamiento silencioso
14 Baja fricción
15 Compensación por desalineación en funcionamiento
16 Compensación por errores de alineación (inicial)
17 Disposiciones de rodamiento fijo
18 Disposiciones de rodamiento libre
19 Desplazamiento axial posible en el rodamiento

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Rodamientos rígidos de bolas		a				+	+ ←→	+ ←→	– b+	+++ b+	+++ b+	+	+++	+++	–	–	++ ←→	+	--
Rodamientos de bolas con contacto angular						+	+ ←	++ ←	–	++	+++	+	++	++	–	–	++ ←	--	--
		b		a, b	c	++	+ ←→	++ ←→	+	+	++	++	+	+	--	--	++ ←→	+	--
						–	++ ←→	+ ←→	+	++	+	+	+	+	--	--	++ ←→	–	--
Rodamientos de bolas a rótula						+	–	–	--	+++	++	–	++	+++	+++	+++	+ ←→	+	--
Rodamientos de rodillos cilíndricos						++	--	--	--	++	++	++	++	++	–	–	--	+++	+++
						++	+ a← b←→	+ a← b←→	--	++	++	++	+	++	–	–	++ a← b←→	+ a←	+ a←
llenos de rodillos				a	b	+++	–	+ ←	--	–	+	+++	–	–	–	–	+ ←	+	+
		a				+++	–	+ a←→ b←	+	–	+	+++	–	–	--	--	+ a←→ b←	+ c	+ b← c←→
Rodamientos de agujas		a	c			++	--	--	--	+	+ a++	a++ b++	+	–	--	-- c++	--	+++	+++
		b, c				++	--	--	--	+	+	++	+	–	--	--	--	+++	+++
		b, c				+	+ c++ ←	+ ←	–	+	+	++	+	–	--	--	+ ←	--	--
Rodamientos de rodillos cónicos						++	++ ←	+++ ←	–	+	+	++	+	+	–	–	+++ ←	--	--
						+++	++ ←→	+++ ←→	+	+	+	+++	+	+	–	--	+++ ←→	–	--
Rodamientos de rodillos a rótula						+++	+ ←→	+++ ←→	--	+	+	++	+	+	+++	+++	++ ←→	+	--
Rodamientos CARB						+++	--	--	--	+	+	++	+	+	+++	+++	--	+++	+++
llenos de rodillos						+++	--	--	--	–	+	+++	+	+	+++	+++	--	+++	+++
Rodamientos axiales de bolas						--	+ a← b←→	--	--	–	++ a	+	–	+	–	--	++ a← b←→	--	--
						--	+ a← b←→	--	--	–	+	+	–	+	–	++	++ a← b←→	--	--
Rodamientos axiales de rodillos						--	++ ←	--	--	–	a+ b++	++	–	–	--	--	++ ←	--	--
Rodamientos axiales de rodillos a rótula						--	+++ ←	+ ←	--	–	+	++	–	+	+++	+++	+++ ←	--	--

– de agujas
– cilíndricos

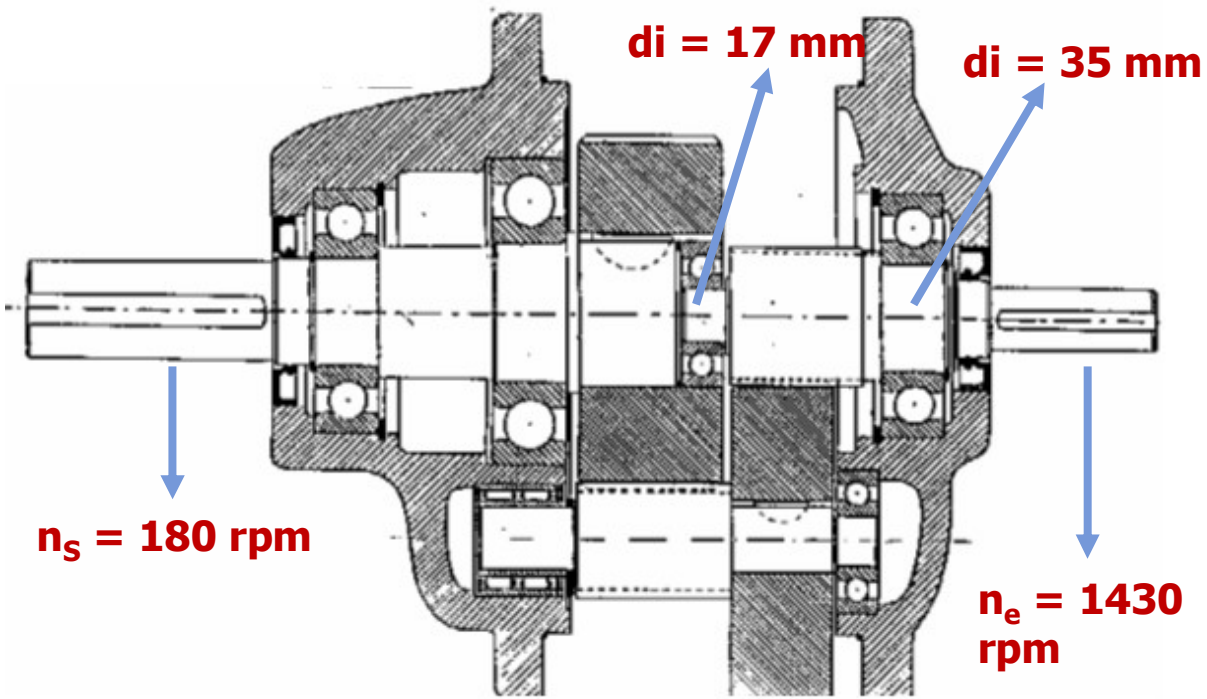
COJINETES Y LUBRICACIÓN
8. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

- A igualdad de diámetro, un rodamiento de rodillos soporta más carga que uno de bolas porque tiene más superficie de contacto.
- Pero los de rodillos necesitan una perfecta geometría. Pequeñas desalineaciones hacen que los rodillos se salgan de su posición. (Solución con retenes resistentes)



COJINETES Y LUBRICACIÓN
9. EJEMPLOS

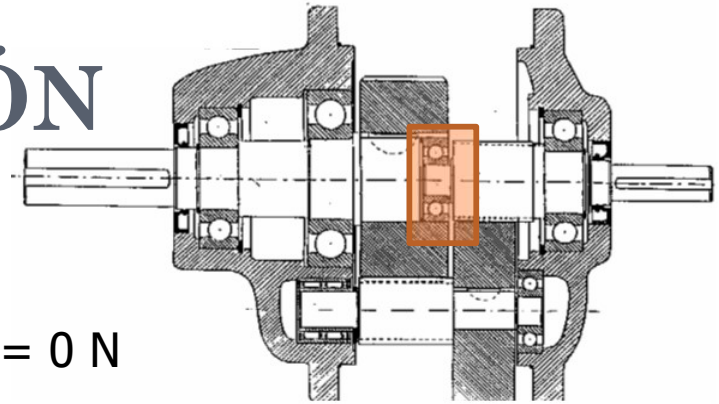
- Eje apoyado en sus extremos sobre dos rodamientos de bolas
  - Izquierdo (d=17 mm) : Móvil F_r = 1353 N F_a = 0 N
  - Derecho (d=35 mm): Fijo F_r = 1083,8 N F_a = 1020,52 N
- Para el conjunto de la figura y con las condiciones mencionadas, se pide seleccionar los rodamientos adecuados.



Rodamiento izquierdo		Movil
d1	17	mm
ns	1430-180=1250	rpm
F_r	1353	N
F_a	0	N
Rodamiento Derecho		**Fijo**
d2	35	mm
ns	1430	rpm
F_r	1083,8	N
F_a	1020,52	N

COJINETES Y LUBRICACIÓN

9. EJEMPLOS

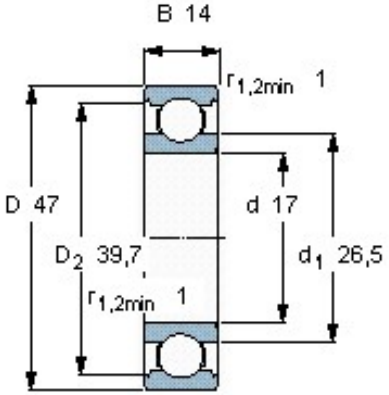


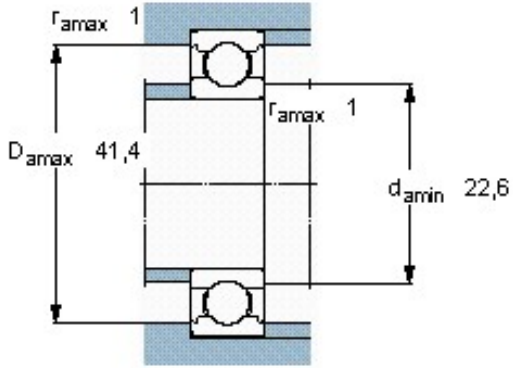
- Izquierdo (d=17 mm) : Móvil F_r = 1353 N F_a = 0 N

Rodamientos rígidos de bolas, de una hilera

Tolerancias , ver también el texto
Juego radial interno , ver también el texto
Ajustes recomendados
Tolerancias del eje y del alojamiento

Dimensiones principales			Capacidades de carga dinámica	estática	Carga límite de fatiga	Velocidades Velocidad de referencia	Velocidad límite	Masa	Designación
d	D	B	C	C_0	P_u				* - Rodamiento SKF Explorer
mm			kN		kN	rpm		kg	-
17	47	14	14,3	6,55	0,275	34000	22000	0,12	**6303** *





Factores de cálculo

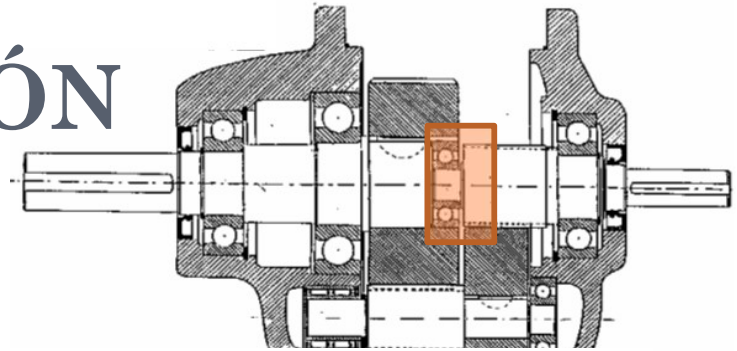
k_r 0,03
f_0 12

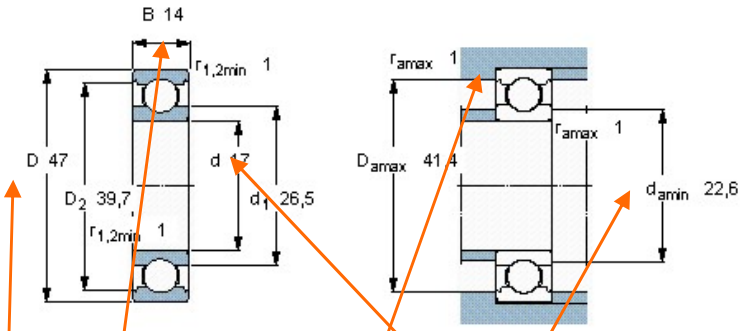
UNIVERSIDAD NEBRIJA

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

COJINETES Y LUBRICACIÓN

9. EJEMPLOS





d1	17	mm
ns	1430-180=1250	rpm
Fr	1353	N
Fa	0	N
C10	9,56	KN
C0	4,5	KN
Gira anillo interior	1	
V	1	
Fa/VFr	0	
Fa/C0	0	
e	0,19	
Fa/VFr<e	e-Fa/VFr 0,19	
X	1	
Y	0	
XFr	1353	N
Yfa	0	N
Feq = x·Fr + y·Fa	**1353**	**N**
D	**40**	**mm**
b	**12**	**mm**
ds	19,5	mm
dH	34	mm

Table 11-2

Dimensions and Load Ratings for Single-Row 02-Series Deep-Groove and Angular-Contact Ball Bearings

Bore, mm	OD, mm	Width, mm	Fillet Radius, mm	Shoulder Diameter, mm d_S	Shoulder Diameter, mm d_H	Load Ratings, kN Deep Groove C_{10}	Load Ratings, kN Deep Groove C_0	Load Ratings, kN Angular Contact C_{10}	Load Ratings, kN Angular Contact C_0
10	30	9	0.6	12.5	27	5.07	2.24	4.94	2.12
12	32	10	0.6	14.5	28	6.89	3.10	7.02	3.05
15	35	11	0.6	17.5	31	7.80	3.55	8.06	3.65
17	40	12	0.6	19.5	34	9.56	4.50	9.95	4.75
20	47	14	1.0	25	41	12.7	6.20	13.3	6.55
25	52	15	1.0	30	47	14.0	6.95	14.8	7.65
30	62	16	1.0	35	55	19.5	10.0	20.3	11.0
35	72	17	1.0	41	65	25.5	13.7	27.0	15.0
40	80	18	1.0	46	72	30.7	16.6	31.9	18.6
45	85	19	1.0	52	77	33.2	18.6	35.8	21.2

$$F_{eq} = x \cdot F_r + y \cdot F_a$$

F_a/C_0	e	$F_a/(VF_r) \le e$ X_1	Y_1	$F_a/(VF_r) > e$ X_2	Y_2
0.014*	0.19	1.00	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1.00	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1.00	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1.00	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1.00	0	0.56	1.71
0.070	0.27	1.00	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1.00	0	0.56	1.55
0.110	0.30	1.00	0	0.56	1.45
0.17	0.34	1.00	0	0.56	1.31
0.28	0.38	1.00	0	0.56	1.15
0.42	0.42	1.00	0	0.56	1.04
0.56	0.44	1.00	0	0.56	1.00

*Use 0.014 if $F_a/C_0 < 0.014$.

V = 1 cuando gira el anillo interior y V = 1,2 cuando gira el anillo exterior.

COJINETES Y LUBRICACIÓN
9. EJEMPLOS

- Izquierdo (d=17 mm) : Móvil F_r = 1353 N F_a = 0 N

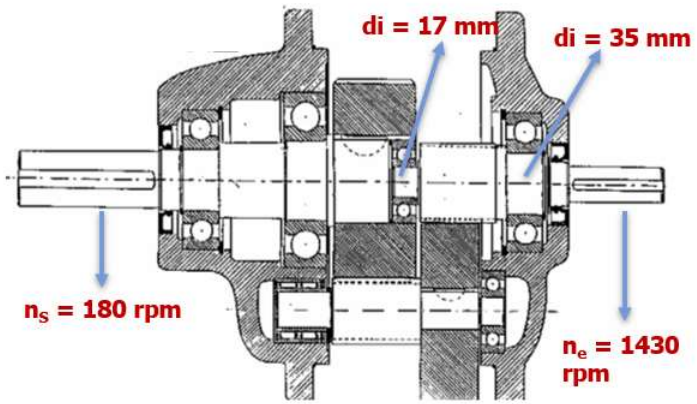
- Sólo carga radial:

$$P_i = 1353 \text{ N} \qquad C = 14300\ N \qquad C_o = 6550\ N$$

$$L(h) = \frac{10^6}{n(rpm)\cdot 60}\left(\frac{C}{P}\right)^3 = \frac{10^6}{1250\cdot 60}\left(\frac{14300}{1353}\right)^3$$

1430-180

$$L(h) = 15742 \text{ horas}$$



UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN

9. EJEMPLOS

- Izquierdo (d=17 mm) : Móvil F_r = 1353 N
  F_a = 0 N

Rodamiento izquierdo	**Movil**	
d1	17	mm
ns	1430-180=1250	rpm
F_r	1353	N
F_a	0	N
Rodamiento Derecho	**Fijo**	
d2	35	mm
ns	1430	rpm
F_r	1083,8	N
F_a	1020,52	N

- Sólo carga radial:

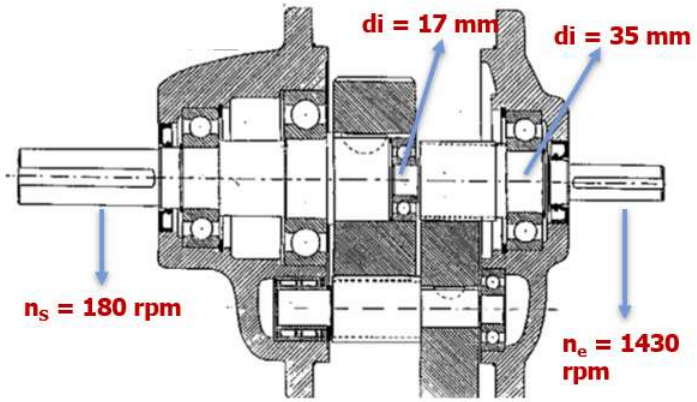
$$P_i = 1353 \text{ N} \qquad C = 14300\ N \qquad C_o = 6550\ N$$

$$L(h) = \frac{10^6}{n(rpm)\cdot 60}\left(\frac{C}{P}\right)^3 = \frac{10^6}{1250\cdot 60}\left(\frac{14300}{1353}\right)^3$$

$$\boxed{L(h) = 15742 \text{ horas}}$$

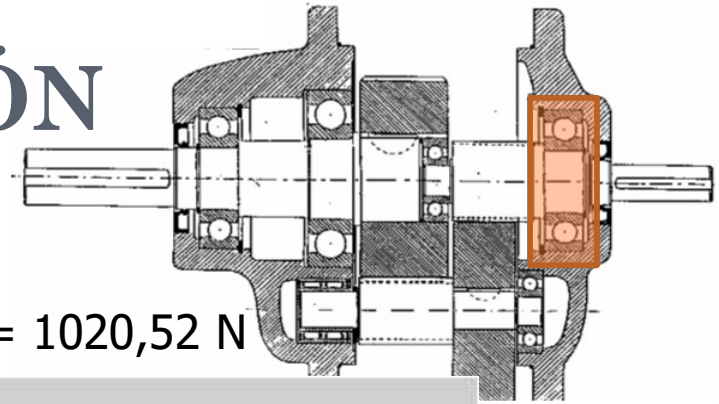
$$L_{10} = 10^6 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^a$$

Gira anillo interior	1	
V	1	
Fa/VFr	0	
Fa/C0	0	
e	0,19	
Fa/VFr<e	e-Fa/VFr 0,19	
X	1	
Y	0	
XFr	1353	N
Yfa	0	N
Feq = x·Fr + y·Fa	**1353**	**N**
D	**40**	**mm**
b	**12**	**mm**
ds	19,5	mm
dH	34	mm
Bolas	1	
a	3	
C=C10	9,56	KN
L10=L	**352.760.774**	**revoluciones**
Ni=ne	1430	rpm
Ne=ns	180	rpm
N=	**1250**	rpm
N=	75000	revxhora
L(h)=	**4.703**	**horas**



Ni= revoluciones anillo interior
Ne= revoluciones anillo exterior.
N=ne-ni

COJINETES Y LUBRICACIÓN
9. EJEMPLOS

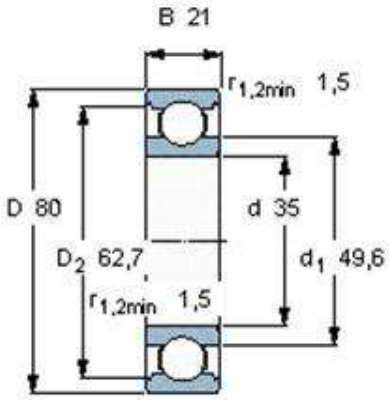


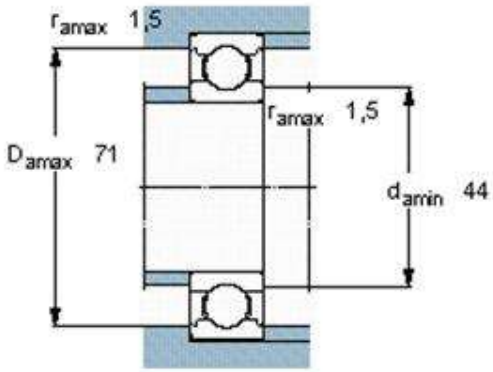
- Derecho (d=35 mm): Fijo F_r = 1083,8 N F_a = 1020,52 N

Rodamientos rígidos de bolas, de una hilera

Tolerancias , ver también el texto
Juego radial interno , ver también el texto
Ajustes recomendados
Tolerancias del eje y del alojamiento

Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga	Velocidades		Masa	Designación
			dinámica	estática		Velocidad de referencia	Velocidad límite		
d	D	B	C	C_0	P_u				* - Rodamiento SKF Explor
mm			kN		kN	rpm		kg	-
35	80	21	35,1	19	0,815	19000	12000	0,46	6307 *





Factores de cálculo
k_r 0,03
f_0 13

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN
9. EJEMPLOS

- Derecho (d=35 mm): Fijo F_r = 1083,8 N F_a = 1020,52 N

Tabla 5: Factores de cálculo para rodamientos rígidos de una hilera de bolas dispuestos individualmente o apareados en tándem

	Juego Normal			Juego C3			Juego C4		
$f_0 F_a / C_0$	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

- Carga dinámica equivalente

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

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

$$\frac{F_a}{F_r} = 0,94$$

COJINETES Y LUBRICACIÓN
9. EJEMPLOS

- Derecho (d=35 mm): Fijo F_r = 1083,8 N F_a = 1020,52 N

Tabla 5: Factores de cálculo para rodamientos rígidos de una hilera de bolas dispuestos individualmente o apareados en tándem

	Juego Normal			Juego C3			Juego C4		
$f_0 F_a / C_0$	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

Para valores intermedios, interpolación lineal.

$$\frac{F_a}{F_r} = 0,94 \qquad f_o \frac{F_a}{C_o} = 13 \cdot \frac{1020,52}{19000} = 0,698 \Rightarrow e = 0,26$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e$$

Factores de cálculo

k_r 0,03
f_0 13

Facilitado fabricante

COJINETES Y LUBRICACIÓN
9. EJEMPLOS

- Derecho (d=35 mm): Fijo F_r = 1083,8 N F_a = 1020,52 N

Tabla 5: Factores de cálculo para rodamientos rígidos de una hilera de bolas dispuestos individualmente o apareados en tándem

	Juego Normal			Juego C3			Juego C4		
$f_0 F_a / C_0$	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

Para valores intermedios, interpolación lineal.

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

$$X = 0,56$$
$$Y = 1,705$$

$$\longrightarrow \quad P_d = 2346,9N$$

COJINETES Y LUBRICACIÓN
9. EJEMPLOS

- Derecho (d=35 mm): Fijo F_r = 1083,8 N F_a = 1020,52 N

$$P_d = 2346,9N$$

$$C = 35100\ N$$

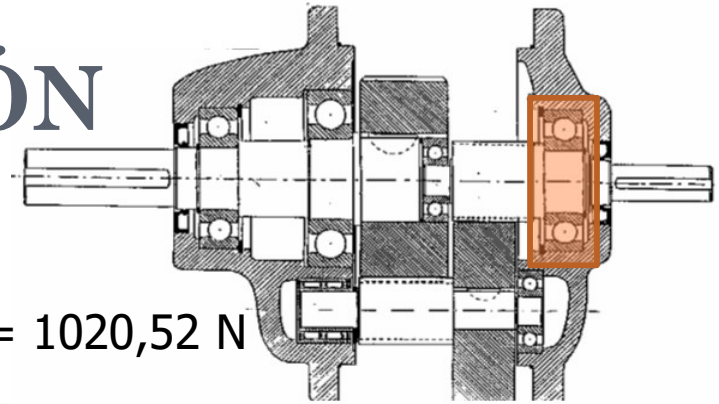
$$C_o = 19000\ N$$

$$L(h) = \frac{10^6}{n(rpm)\cdot 60}\left(\frac{C}{P}\right)^3 = \frac{10^6}{1430\cdot 60}\left(\frac{35100}{2346,9}\right)^3$$

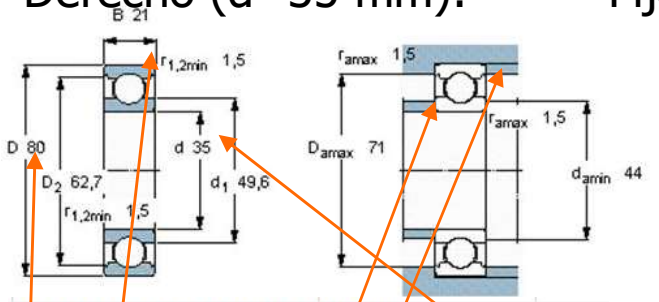
$$\boxed{L(h) = 38990 \text{ horas}}$$

COJINETES Y LUBRICACIÓN

9. EJEMPLOS



- Derecho (d=35 mm): Fijo F_r = 1083,8 N F_a = 1020,52 N



Rodamiento izquierdo	Movil	
d1	35	mm
ns	1430	rpm
Fr	1083,8	N
Fa	1020,52	N
C10	25,5	KN
C0	13,7	KN
Gira anillo interior	1	
V	1	
Fa/VFr	0,941612844	
Fa/C0	0,074490511	
e	0,27	
Fa/VFr<e	e-Fa/VFr 0,67	
X	0,56	
Y	1,63	
XFr	606,928	N
Yfa	1663,4476	N
Feq = x·Fr + y·Fa	**2270,3756**	**N**
D	**72**	
b	**17**	
ds	41	mm
dH	65	mm

$$F_{eq} = x \cdot F_r + y \cdot F_a$$

Similar 0,26 de la otra resolución.

$$f_o \frac{F_a}{C_o} = 13 \cdot \frac{1020,52}{19000} = 0,698 \Rightarrow e = 0,26$$

f_0 13

Table 11-2

Dimensions and Load Ratings for Single-Row 02-Series Deep-Groove and Angular-Contact Ball Bearings

Bore, mm	OD, mm	Width, mm	Fillet Radius, mm	Shoulder Diameter, mm d_S	Shoulder Diameter, mm d_H	Load Ratings, kN Deep Groove C_{10}	Load Ratings, kN Deep Groove C_0	Load Ratings, kN Angular Contact C_{10}	Load Ratings, kN Angular Contact C_0
10	30	9	0.6	12.5	27	5.07	2.24	4.94	2.12
12	32	10	0.6	14.5	28	6.89	3.10	7.02	3.05
15	35	11	0.6	17.5	31	7.80	3.55	8.06	3.65
17	40	12	0.6	19.5	34	9.56	4.50	9.95	4.75
20	47	14	1.0	25	41	12.7	6.20	13.3	6.55
25	52	15	1.0	30	47	14.0	6.95	14.8	7.65
30	62	16	1.0	35	55	19.5	10.0	20.3	11.0
35	72	17	1.0	41	65	25.5	13.7	27.0	15.0
40	80	18	1.0	46	72	30.7	16.6	31.9	18.6
45	85	19	1.0	52	77	33.2	18.6	35.8	21.2

F_a/C_0	e	$F_a/(VF_r) \le e$ X_1	Y_1	$F_a/(VF_r) > e$ X_2	Y_2
0.014*	0.19	1.00	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1.00	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1.00	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1.00	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1.00	0	0.56	1.71
0.070	0.27	1.00	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1.00	0	0.56	1.55
0.110	0.30	1.00	0	0.56	1.45
0.17	0.34	1.00	0	0.56	1.31
0.28	0.38	1.00	0	0.56	1.15
0.42	0.42	1.00	0	0.56	1.04
0.56	0.44	1.00	0	0.56	1.00

*Use 0.014 if $F_a/C_0 < 0.014$.

V = 1 cuando gira el anillo interior y V = 1,2 cuando gira el anillo exterior.

COJINETES Y LUBRICACIÓN
9. EJEMPLOS

Rodamiento izquierdo	**Movil**	
d1	17	mm
ns	180	rpm
F_r	1353	N
F_a	0	N
Rodamiento Derecho	**Fijo**	
d2	35	mm
ns	1430	rpm
F_r	1083,8	N
F_a	1020,52	N

- Derecho (d=35 mm): Fijo F_r = 1083,8 N
  F_a = 1020,52 N

$$P_d = 2346,9N$$

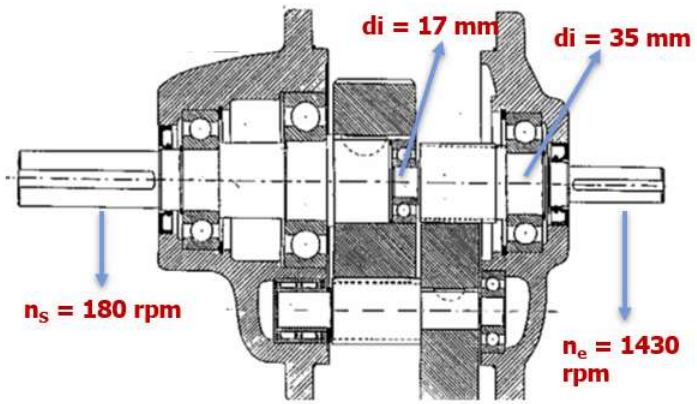
$$C = 35100\ N$$

$$C_o = 19000\ N$$

$$L(h) = \frac{10^6}{n(rpm)\cdot 60}\left(\frac{C}{P}\right)^3 = \frac{10^6}{1430\cdot 60}\left(\frac{35100}{2346,9}\right)^3$$

$$L(h) = 38990 \text{ horas}$$

$$L_{10} = 10^6 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^a$$

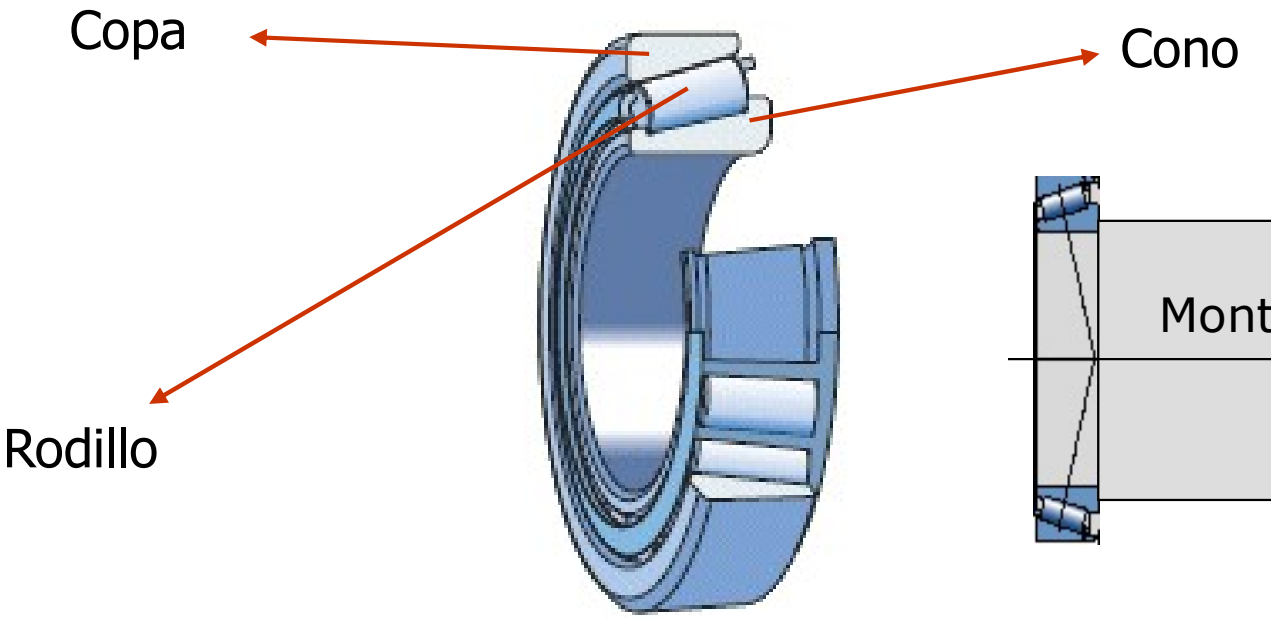


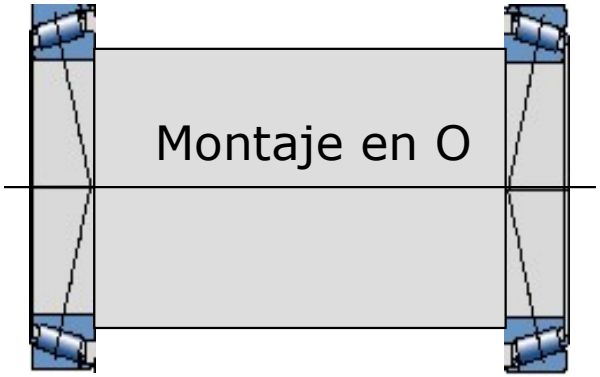
Gira anillo interior	1	
V	1	
Fa/VFr	0,941612844	
Fa/C0	0,074490511	
e	0,27	
Fa/VFr<e e-Fa/VFr	- 0,67	
X	0,56	
Y	1,63	
XFr	606,928	N
Yfa	1663,4476	N
Feq = x·Fr + y·Fa	**2270,3756**	**N**
D	**72**	
b	**17**	
ds	41	mm
dH	65	mm
Bolas	1	
a	3	
C=C10	25,5	KN
L10=L	**1.416.861.531**	**revoluciones**
Ni=ne	1430	rpm
Ne=ns	0	rpm
N=	**1430**	rpm
N=	85800	revxhora
L(h)=	**16.514**	**horas**

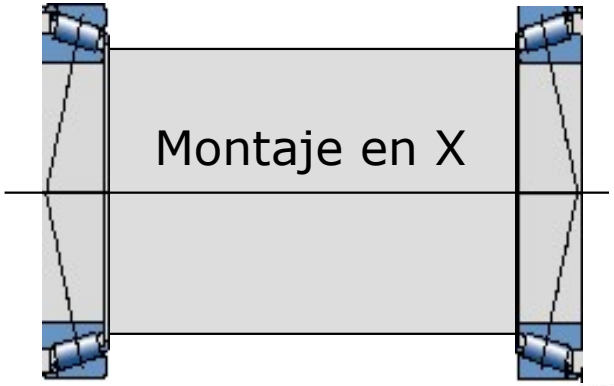
COJINETES Y LUBRICACIÓN
9. EJEMPLOS

- Montaje cilindros cónicos

Montaje de dos rodamientos cónicos con sentidos contrario para compensar el empuje axial generado por la fuerza radial.

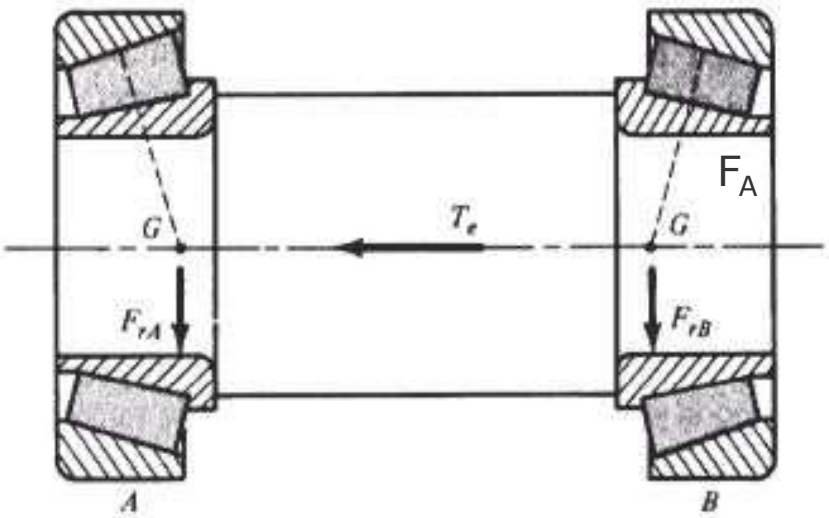






COJINETES Y LUBRICACIÓN
9. EJEMPLOS

- Cilindros cónicos: Sometido a fuerza axial.
- ¿Fuerza radial equivalente?



- Carga dinámica equivalente

$P = F_r$ cuando $F_a / F_r \leq e$

$P = 0,4 \cdot F_r + Y \cdot F_a$ cuando $F_a / F_r > e$

EJEMPLO DE CÁLCULO

Montaje en X. Velocidad: 1500 rpm.

- Derecho (d=25 mm) : F_r = 2780 N F_a = 0 N
- Izquierdo (d=28 mm) : F_r = 3892 N F_a = 1112 N

EJEMPLO DE CÁLCULO
Montaje en X. Velocidad: 1500 rpm.

- Derecho (d=25 mm) : F_r = 2780 N F_a = 0
- Izquierdo (d=28 mm) : F_r = 3892 N F_a = 1112 N

COJINETES Y LUBRICACION

9. EJEMPLOS

- Carga dinámica equivalente

$P = F_r$ cuando $F_a / F_r \leq e$

$P = 0{,}4 \cdot F_r + Y \cdot F_a$ cuando $F_a / F_r > e$

Y=K

- Cilindros cónicos: Sometido a fuerza axial.
- ¿Fuerza radial equivalente?

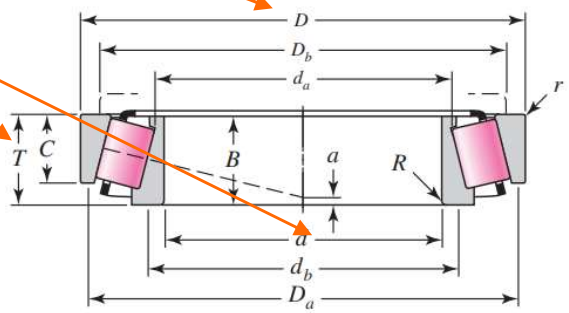
Shigley $F_e = 0.4F_r + K F_a$

X = 0,4 y V = 1

Carga radial aro interior gira

bore d	outside diameter D	width T	rating at 500 rpm for 3000 hours L_{10}: one-row radial N lbf	rating at 500 rpm for 3000 hours L_{10}: thrust N lbf	fac-tor K	eff. load center a②	part numbers: cone	part numbers: cup	cone: max shaft fillet radius R①	cone: width B	cone: backing shoulder diameters d_b	cone: backing shoulder diameters d_a	cup: max hous-ing fillet radius r①	cup: width C	cup: backing shoulder diameters D_b	cup: backing shoulder diameters D_a
25.000 0.9843	52.000 2.0472	16.250 0.6398	8190 1840	5260 1180	1.56	−3.6 −0.14	◆30205	◆30205	1.0 0.04	15.000 0.5906	30.5 1.20	29.0 1.14	1.0 0.04	13.000 0.5118	46.0 1.81	48.5 1.91
25.000 0.9843	52.000 2.0472	19.250 0.7579	9520 2140	9510 2140	1.00	−3.0 −0.12	◆32205-B	◆32205-B	1.0 0.04	18.000 0.7087	34.0 1.34	31.0 1.22	1.0 0.04	15.000 0.5906	43.5 1.71	49.5 1.95
25.000 0.9843	52.000 2.0472	22.000 0.8661	13200 2980	7960 1790	1.66	−7.6 −0.30	◆33205	◆33205	1.0 0.04	22.000 0.8661	34.0 1.34	30.5 1.20	1.0 0.04	18.000 0.7087	44.5 1.75	49.0 1.93
25.000 0.9843	62.000 2.4409	18.250 0.7185	13000 2930	6680 1500	1.95	−5.1 −0.20	◆30305	◆30305	1.5 0.06	17.000 0.6693	32.5 1.28	30.0 1.18	1.5 0.06	15.000 0.5906	55.0 2.17	57.0 2.24
25.000 0.9843	62.000 2.4409	25.250 0.9941	17400 3910	8930 2010	1.95	−9.7 −0.38	◆32305	◆32305	1.5 0.06	24.000 0.9449	35.0 1.38	31.5 1.24	1.5 0.06	20.000 0.7874	54.0 2.13	57.0 2.24

SINGLE-ROW STRAIGHT BORE



Carga axial inducida por la carga radial.

$$F_i = \frac{0.47 F_r}{K}$$

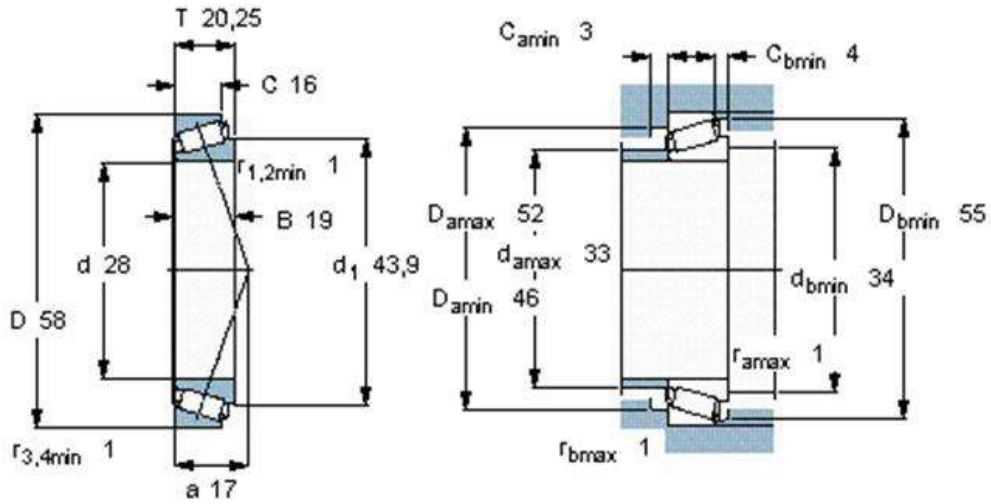
K depende de la geometría y es la relación entre la carga radial y su empuje. Su intervalo suele ir de 1,5 cojinete radial a 0,75 ángulo pronunciado.

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

COJINETES Y LUBRICACIÓN
9. EJEMPLOS

- Izquierdo (d=28mm). Montaje en X. Velocidad 1500 rpm

Dimensiones principales			Capacidades de carga dinámica	estática	Carga límite de fatiga	Velocidades Velocidad de referencia	Velocidad límite	Masa	Designación
d	D	T	C	C_0	P_u				
mm			kN		kN	rpm		kg	-
28	58	20,25	41,8	50	5,5	8500	12000	0,25	**322/28 BJ2/Q**



F_r = 3892 N F_a = 1112 N

Factores de cálculo
e 0,57
Y 1,05
Y_0 0,6

$$\frac{F_a}{F_r} = 0,68 \qquad e = 0,57 \qquad Y = 1,05 \qquad C = 41800$$

$$P = 0,4 \cdot F_r + Y \cdot F_a \qquad \text{cuando} \quad F_a / F_r > e \longrightarrow P_i = 4339,3N$$

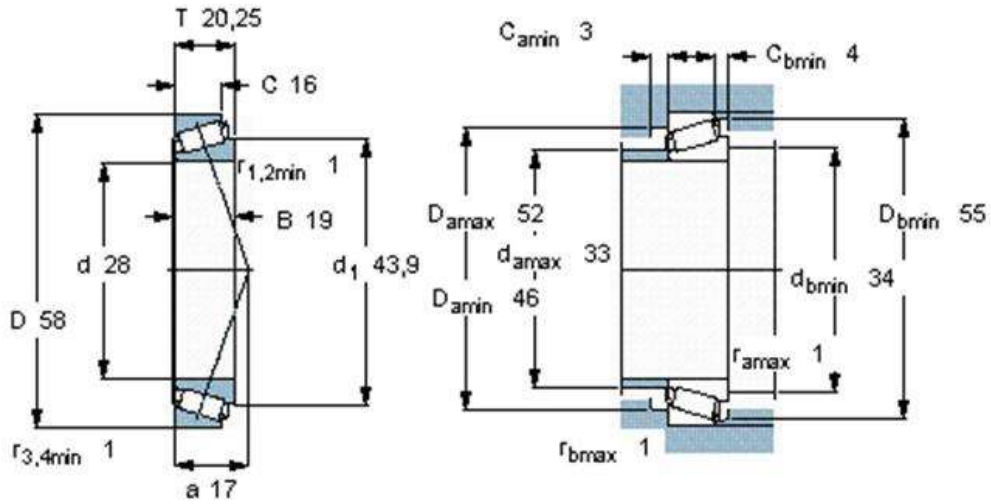
Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN
9. EJEMPLOS

- Derecho (d=25mm). Montaje en X. Velocidad 1500 rpm

Dimensiones principales			Capacidades de carga dinámica	estática	Carga límite de fatiga	Velocidades Velocidad de referencia	Velocidad límite	Masa	Designación
d	D	T	C	C_0	P_u				
mm			kN		kN	rpm		kg	-
28	58	20,25	41,8	50	5,5	8500	12000	0,25	**322/28 BJ2/Q**



F_r = 2780 N **F_a = 0 N**

Factores de cálculo
e 0,57
Y 1,05
Y_0 0,6

$P = F_r$ cuando $F_a / F_r \leq e$ $C = 30800N$

$P_d = 2780N$

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN
9. EJEMPLOS

Montaje en X. Velocidad: 1500 rpm.

- Izquierdo (d=28 mm) : F_r = 3892 N F_a = 1112 N
- Derecho (d=25 mm) : F_r = 2780 N F_a = 0 N

$$L(h) = \frac{10^6}{n(rpm)\cdot 60}\left(\frac{C}{P}\right)^{10/3} = \frac{10^6}{1500\cdot 60}\left(\frac{41800}{4339,3}\right)^{10/3}$$

$$\boxed{L_i(h) = 21132 \text{ horas}}$$

$$L(h) = \frac{10^6}{n(rpm)\cdot 60}\left(\frac{C}{P}\right)^{10/3} = \frac{10^6}{1500\cdot 60}\left(\frac{30800}{2780}\right)^{10/3}$$

$$\boxed{L_d(h) = 33685 \text{ horas}}$$

COJINETES Y LUBRICACIÓN

$C = 30800N$

9. EJEMPLOS

F_r = 2780 N **F_a = 0 N** $P_d = 2780N$

$P = F_r$ cuando $F_a / F_r \leq e$

- Derecho (d=25mm). Montaje en X. Velocidad 1500 rpm

bore d	outside diameter D	width T	rating at 500 rpm for 3000 hours L_{10} one-row radial N lbf	thrust N lbf	fac-tor K	eff. load center a②
25.000 0.9843	52.000 2.0472	16.250 0.6398	8190 1840	5260 1180	1.56	−3.6 −0.14
25.000 0.9843	52.000 2.0472	19.250 0.7579	9520 2140	9510 2140	1.00	−3.0 −0.12
25.000 0.9843	52.000 2.0472	22.000 0.8661	13200 2980	7960 1790	1.66	−7.6 −0.30
25.000 0.9843	62.000 2.4409	18.250 0.7185	13000 2930	6680 1500	1.95	−5.1 −0.20
25.000 0.9843	62.000 2.4409	25.250 0.9941	17400 3910	8930 2010	1.95	−9.7 −0.38

Rodamiento derecho	Movil	
d1	25	mm
ns	1500	rpm
Fr	2780	N
Fa	0	N
C10	8190	KN
Fi empuje	**5260**	**N**
Gira anillo interior	1	
V	1	
Fa/VFr	0,301282051	
FI-fa=0,47*Fr/k	4422,435897	
e	0,27	
Fa/VFr<e	- 0,03	
X	1	
Y	-	
XFr	2780	N
Yfa	-	N
Feq = x·Fr + y·Fa	**2780**	**N**
Bolas	0	
a	3,333333333	
C=C10	8190	N
L10=L	**36.654.758**	**revoluciones**
Ni=ne	1500	rpm
Ne=ns	0	rpm
N=	**1500**	rpm
N=	90000	revxhora
L(h)=	407	horas

$$F_e = 0.4F_r + K\,F_a \qquad F_i = \frac{0.47F_r}{K}$$

Rodamiento derecho	Movil	
d1	25	mm
ns	1500	rpm
Fr	2780	N
Fa	0	N
C10	17400	KN
Fi empuje	**8930**	**N**
Gira anillo interior	1	
V	1	
Fa/VFr	0,24	
FI-fa=0,47*Fr/k	8.259,95	
e	0,38	
Fa/VFr<e	0,14	
X	1	
Y	-	
XFr	2780	N
Yfa	0	N
Feq = x·Fr + y·Fa	**2780**	**N**
Bolas	0	
a	3,333333333	
C=C10	17400	N
L10=L	**451.871.386**	**revoluciones**
Ni=ne	1500	rpm
Ne=ns	0	rpm
N=	**1500**	rpm
N=	90000	revxhora
L(h)=	5.021	horas

$$F_e = 0.4F_r + K\,F_a \qquad F_i = \frac{0.47F_r}{K}$$

$$L_{10} = 10^6 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^a$$

a =10/3

$L_d(h) = 33685$ horas

Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN

9. EJEMPLOS

$C = 41800$ $\frac{F_a}{F_r} = 0,68$ $e = 0,57$

$Y = 1,05$ $P_i = 4339,3N$

F_r = 3892 N F_a = 1112 N

$P = 0,4 \cdot F_r + Y \cdot F_a$ cuando $F_a / F_r > e$

- Izquierdo (d=28mm). Montaje en X. Velocidad 1500 rpm

bore d	outside diameter D	width T	rating at 500 rpm for 3000 hours L_{10} one-row radial N lbf	thrust N lbf	factor K
28.575 1.1250	56.896 2.2400	19.845 0.7813	11600 2610	6560 1470	1.77
28.575 1.1250	57.150 2.2500	17.462 0.6875	11000 2480	6550 1470	1.69
28.575 1.1250	58.738 2.3125	19.050 0.7500	11600 2610	6560 1470	1.77
28.575 1.1250	58.738 2.3125	19.050 0.7500	11600 2610	6560 1470	1.77
28.575 1.1250	60.325 2.3750	19.842 0.7812	11000 2480	6550 1470	1.69
28.575 1.1250	60.325 2.3750	19.845 0.7813	11600 2610	6560 1470	1.77

Rodamiento derecho	Movil	
d1	28	mm
ns	1500	rpm
Fr	3892	N
Fa	1112	N
C10	11600	KN
Fi empuje	6560	N
Gira anillo interior	1	
V	1	
Fa/VFr	0,551251009	
FI-fa	2210,2452	
X	0,4	
Y	1,77	
XFr	1556,8	N
Yfa	1.968,24	N
Feq = x·Fr + y·Fa	3.525,04	N
Bolas	1	
a	3	
C=C10	11600	KN
L10=L	35.635.415	revoluciones
Ni=ne	1500	rpm
Ne=ns	0	rpm
N=	1500	rpm
N=	90000	revxhora
L(h)=	396	horas

Y(fa +Fi)

$$F_e = 0.4F_r + K\,F_a \qquad F_i = \frac{0.47F_r}{K}$$

Rodamiento derecho	Movil	
d1	28	mm
ns	1500	rpm
Fr	3892	N
Fa	1112	N
C10	11000	KN
Fi empuje	6560	N
Gira anillo interior	1	
V	1	
Fa/VFr	0,551251009	
FI-fa	2210,2452	
X	0,4	
Y	1,69	
XFr	1556,8	N
Yfa	1.879,28	N
Feq = x·Fr + y·Fa	3.436,08	N
Bolas	1	
a	3	
C=C10	11000	KN
L10=L	32.808.642	revoluciones
Ni=ne	1500	rpm
Ne=ns	0	rpm
N=	1500	rpm
N=	90000	revxhora
L(h)=	365	horas

$$F_e = 0.4F_r + K\,F_a \qquad F_i = \frac{0.47F_r}{K}$$

$$L_{10} = 10^6 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^a$$

a =10/3

$L_i(h) = 21132$ horas

Carga axial debido a la carga radial

En las dos hojas de catalogo solo hay 4 modelos.

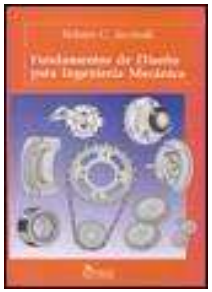
Dr. José Luis Olazagoitia y MABH

UNIVERSIDAD NEBRIJA

COJINETES Y LUBRICACIÓN
10. BIBLIOGRAFÍA

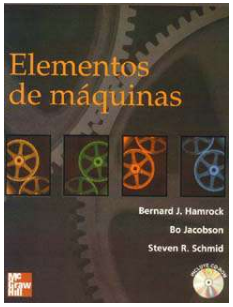
J.E. Shigley y C. Mischke, McGraw Hill, 2002.
DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, 6ª Ed.
ISBN: 9701036468

J.I. Pedrero, UNED, 2005.
TECNOLOGÍA DE MÁQUINAS (TOMO 1)
ISBN: 8436251253



R. C. Juvinall, Ed. Limusa, 1991.
FUNDAMENTOS DE DISEÑO PARA INGENIERÍA MECÁNICA
ISBN: 968-18-3836-X

R. L. Norton, Prentice Hall, 1999.
DISEÑO DE MÁQUINAS
ISBN : 970-17-0257-3



Bernard J. Hamrock et al., McGraw-Hill, Inc., 1999.
ELEMENTOS DE MÁQUINAS
ISBN: 0-256-1906-09