

RODAMIENTOS DE SUPER PRECISIÓN



Rodamientos para Husillos
Rodamientos de Rodillos Cilíndricos de Super precisión
Rodamientos Axiales de Bolas Contacto Angular



Propiedades de los rodamientos FAG de superprecisión

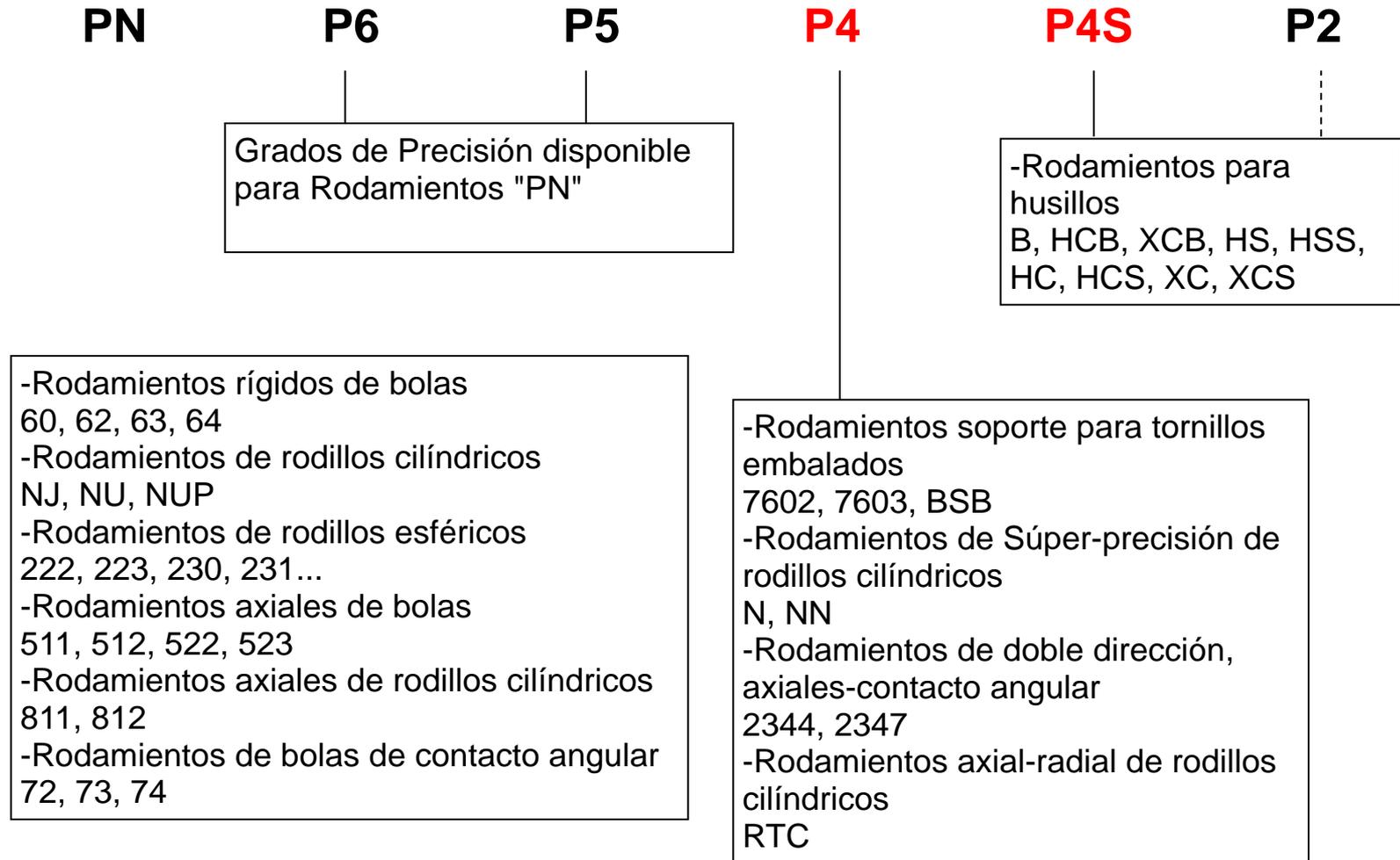
La precisión FAG P4S - El material correcto

¿Súper-precisión?

¿Cuál es la diferencia?



Grados de Tolerancia y Precisión



Definición de Tolerancia (Metrología Industrial)

La tolerancia puede ser especificada por un rango explícito de valores permitidos, una máxima desviación de un valor nominal, o un factor o porcentaje de un valor nominal o medida de referencia.

Por ejemplo, si la longitud aceptable de un barra de acero está en el intervalo $1 \text{ m} \pm 0.01 \text{ m}$, la tolerancia es de 0.01 m (longitud absoluta) o 1% (porcentaje).

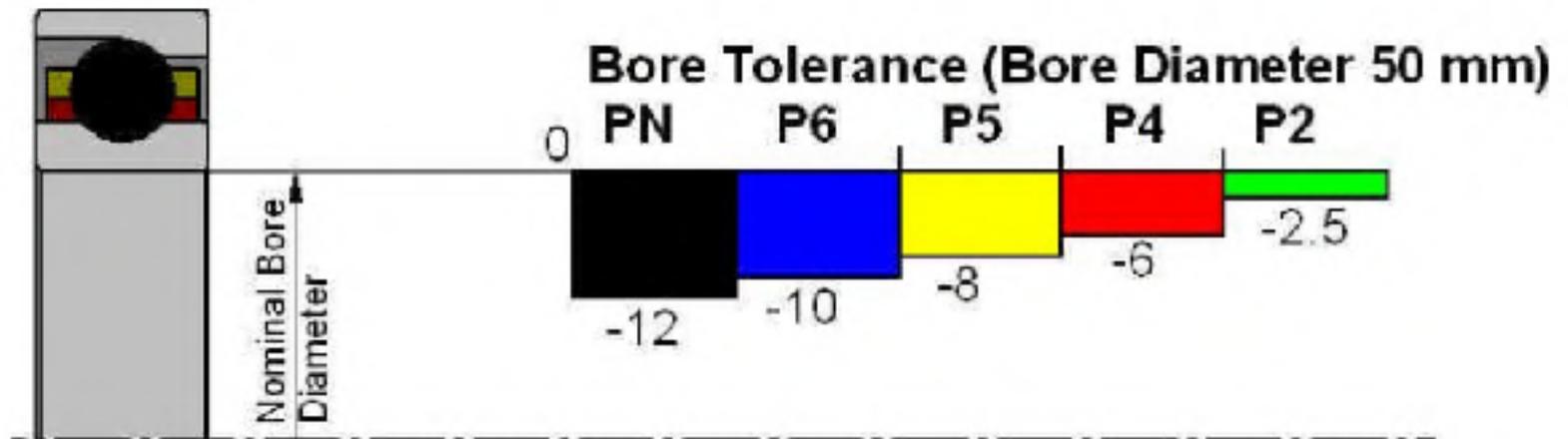
La tolerancia puede ser simétrica, como en 40 ± 0.1 , ó asimétrica como $40 + 0.2 / -0.1$.

Grados de Tolerancia y Precisión

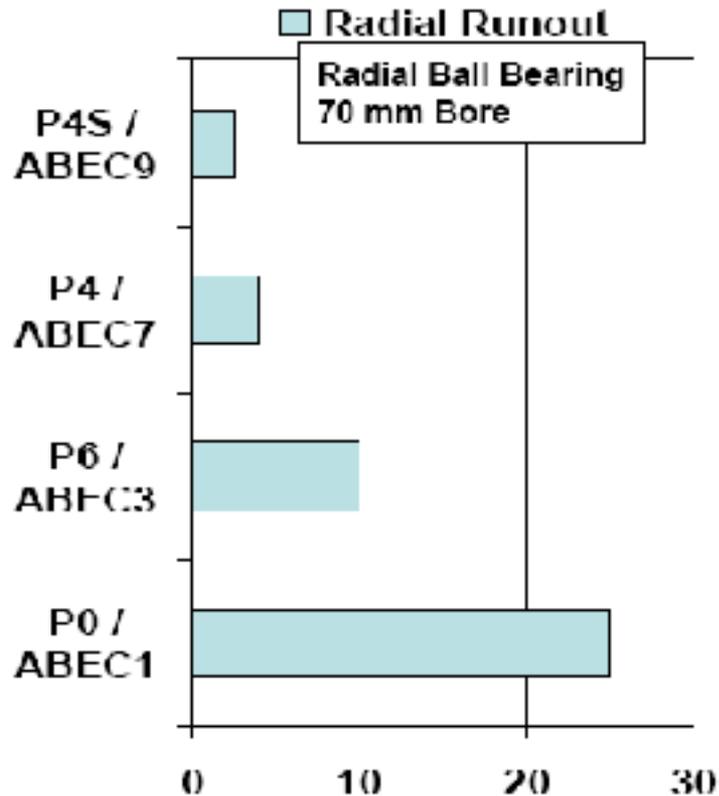
ABEC American Bearing Engineers Committee
ISO International Standards Organization
DIN German National Standards Organization

ABEC	ISO 492	DIN 620
ABEC 1	NORMAL	PN
ABEC 3	CLASE 6	P6
ABEC 5	CLASE 5	P5
ABEC 7	CLASE 4	P4
ABEC 9	CLASE 2	P2

Grados de Tolerancia y Precisión



Grados de Tolerancia y Precisión

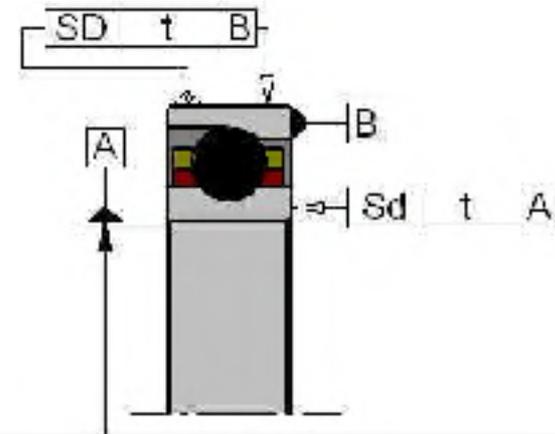
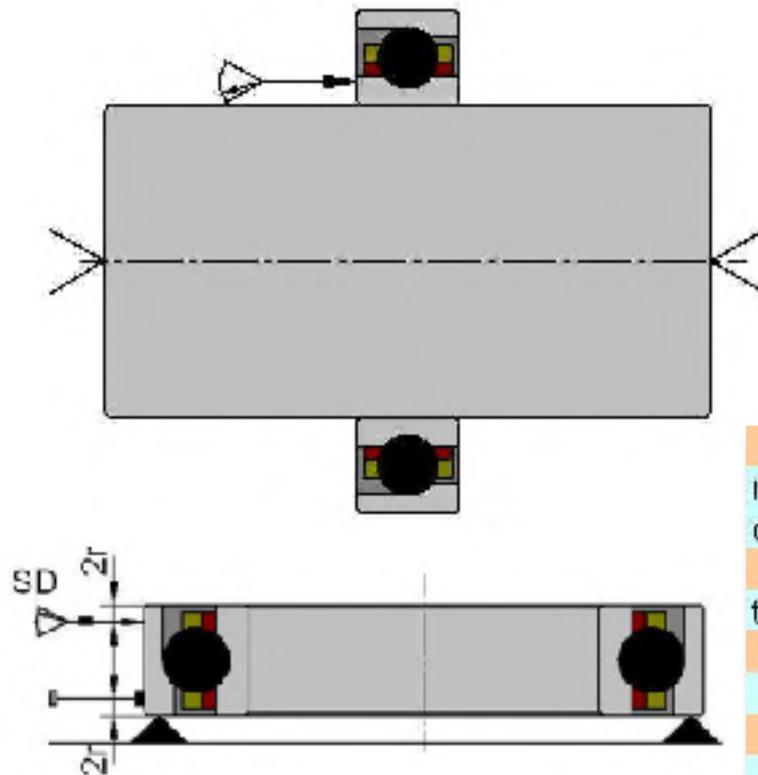


Los rodamientos **FAG** tienen tolerancia "**P4S**" como estándar

- Tolerancias dimensionales según P4/ABEC7
 - Diámetro Interior
 - Diámetro Exterior
- Todas las tolerancias de excentricidad según P2/ABEC9
 - Redondez del camino de rodadura
 - Redondez del Diámetro Interior
 - Redondez del Diámetro Exterior
 - Paralelismo de las caras
 - Variación axial
 - Excentricidad radial
- Ejemplo de la designación, B7014C.T.**P4S**.UL

Grados de Tolerancia y Precisión

Sd Concentricidad de la cara lateral del aro interno con referencia a diámetro interior
 SD Variación en la inclinación de la cilindricidad del diámetro exterior con referencia a la cara lateral del aro exterior

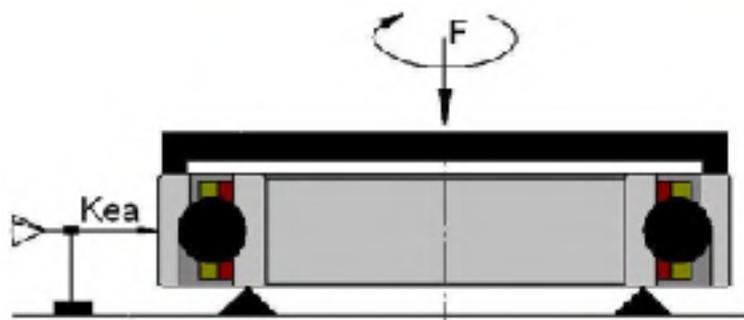
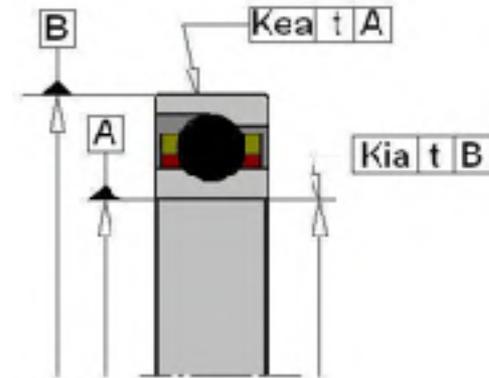
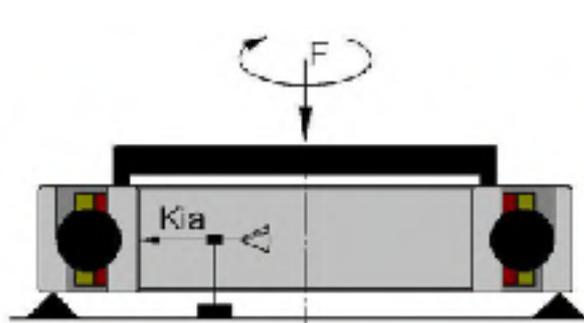


dimensions in mm					
nominal bore	over	18	30	50	80
diameter	including	30	50	80	120
tolerances in μm					
tolerance class					
PN		20	20	25	25
P6		12	12	15	15
P5		8	8	8	9
P4		4	4	5	5
P4S		1.5	1.5	1.5	2.5
P2		1.5	1.5	1.5	2.5

[Link: Precisión y Tolerancias](#)

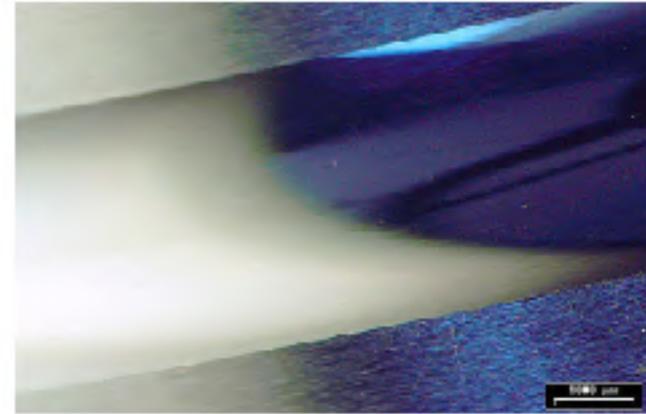
Grados de Tolerancia y Precisión

Kia Variación radial del aro interior del rodamiento
 Kea Variación radial del aro exterior del rodamiento



dimensions in mm					
nominal bore	over	18	30	50	80
diameter	including	30	50	80	120
tolerances in μm					
tolerance class					
PN		13	15	20	25
P6		8	10	10	13
P5	Kia	4	5	5	6
P4		3	4	4	5
P4S		2.5	2.5	2.5	2.5
P2		2.5	2.5	2.5	2.5

Calidad de la superficie de rodadura



Aplicaciones

Las máquinas-herramientas constituyen el ámbito de aplicación principal de los rodamientos de Súper-precisión.

Esta gama de rodamientos se utiliza en aplicaciones en donde se exige un **máximo de fiabilidad**, una **alta precisión de giro** y un **elevado número de revoluciones**, ya sea de forma independiente o combinada.



Rodamientos FAG para husillos

Tipos / Series

- **Rodamientos para husillos**

B719..C, B70..C, B72..C, HS70..C, HS719..C, B718..C, B719..E, B70..E, B72..E, HS70..E, HS719..E, B718..E

- **Rodamientos de desplazamiento flotante**

FD10

- **Rodamientos de rodillos cilíndricos de alta precisión**

N10, N19, HCN10, NN30, NNU49

- **Rodamientos axiales de bolas de contacto angular de doble efecto**

2344, 2347

- **Rodamientos axiales de bolas de contacto angular para husillos a bolas**

7602, 7603, BSB

- **Rodamientos de rodillos cilíndricos radiales/axiales**

RTC



DENOMINACION DE RODAMIENTOS PARA HUSILLOS



B 70 06 C .TP49.UL
 H55 70 06 C .TP49.UL
 HCB 70 06 C DLR.TP49.UL
 B 70 06 C ?RSD.TP49.UL
 D 70 06 C .TP49.UL.L75

Diseño

- B Rodamientos tipo estándar
Revoluciones pesadas
- HCB Rodamientos tipo estándar
Revoluciones pesadas
Bolas de cerámica
- H55 Rodamientos de altas velocidades
Revoluciones pesadas
- H33 Rodamientos de altas velocidades,
Lubricación a la mano Bolas de acero
- H3C Rodamientos de altas velocidades
Bolas de cerámica
- H34 Rodamientos de altas velocidades,
Lubricación a la mano Bolas de cerámica
- H3 Rodamientos de altas velocidades
Bolas de cerámica
- HCB Rodamientos de altas velocidades
Bolas de cerámica
- H55 Rodamientos de altas velocidades
Lubricación a la mano Bolas de cerámica

Serie de medidas

- 718 Serie ultraligera
- 719 Serie ligera
- 70 Serie estándar
- 72 Serie pesada

Número característico del agujero

- 6 5mm
- 7 7mm
- 8 9mm
- 9 10mm
- 00 12mm
- 01 15mm
- 02 17mm
- 03 4-5-20mm
- 04 5-5-25mm

Angulo de contacto

- C 15°
- E 25°

Forma externa

- DAR DIRECT LUBE
Lubricación directa con aceite
o grasa a la medida

Obstrucción

.RSD Equilibrados y obturados por ambos
lados
Las ejecuciones obturadas se han
marcado en las tablas de nombramiento.
H55CCH

Etiqueteo de grasa en fibra

L75 Grasa Arcinol L75 de FAG para
rodamientos no obturados
se rotulan en los rotulados por
ambos lados para engrasados a
presión L75 (estándar)

Presión

- A Agua
- M Medida
- H Pesada

Disposición de los rodamientos

- U Rodamientos individuales
Disposición arbitraria
- DU Grupo de 2 rodamientos unid.
TU Grupo de 3 rodamientos unid.
QU Grupo de 4 rodamientos unid.
RU Grupo de 5 rodamientos unid.
UR Grupo de 2 rodamientos
Disposición en D
- UR Grupo de 2 rodamientos
Disposición en X
- UR Grupo de 2 rodamientos
tandem
- TBT Grupo de 3 rodamientos
tandem-U
- QBC Grupo de 4 rodamientos
tandem-U-tandem.

Precesión

- RS Radial
- RS Radial

Jaula

- T Roda sencilla,
grita en el lado exterior
contra la jaula
- HTA Roda sencilla,
grita en el lado exterior
contra la jaula

Denominación de Rodamientos para Husillos

FAG

B 70 08 C	.T.P4S.DUL
HSS 70 08 C	.T.P4S.DUL
HCB 70 08 C	DLR.T.P4S.DUL
B 70 08 C	.2RSD.T.P4S.DUL
B 70 08 C	.T.P4S.DUL.L75

Diseño

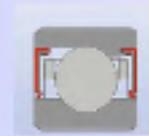
B	Rodamiento tipo estándar, bolas de acero
HCB	Rodamiento tipo estándar, bolas de cerámica
XCB	X-life Ultra, bolas de cerámica
HS	Rodamiento para alta velocidad, bolas de acero
HSS	Rodamiento para alta velocidad obturado, bolas de acero
HC	Rodamiento para alta velocidad, bolas de cerámica
HCS	Rodamiento para alta velocidad obturado, bolas de cerámica
XC	X-life Ultra, Rodamientos de alta velocidad, bolas de cerámica
XCS	X-life Ultra, Rodamientos de alta velocidad obturados, bolas de cerámica

Rango de Producto

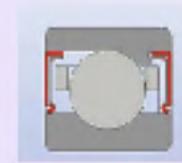
Spindle Bearings B - Type



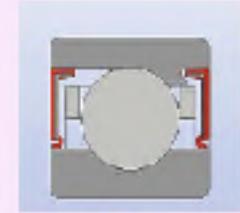
B719.. B70.. B72..



B719....2RSD



B70....2RSD

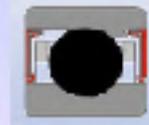


B72....2RSD

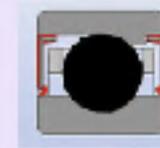
Spindle Bearings B-Type, Hybrid



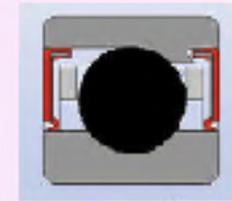
HCB719.. HCB70.. HCB72...



HCB719....2RSD

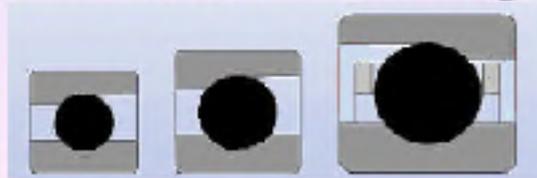


HCB70....2RSD



HCB72....2RSD

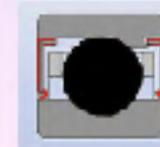
X-Life-ultra - Bearings Cronidur B-Type (only Hybrid)



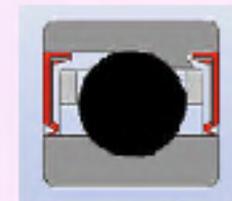
XCB719.. XCB70.. XCB72...



XCB719....2RSD



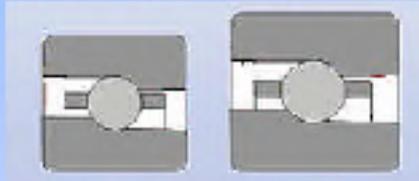
XCB70....2RSD



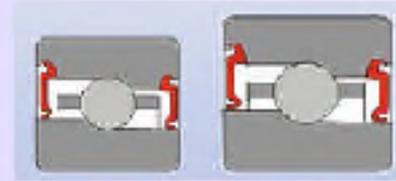
XCB72....2RSD

Rango de Producto

High Speed Spindle Baerings

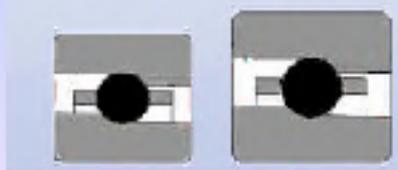


HS719.. HS70..

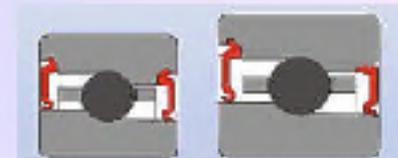


HSS719.. HSS70..

High Speed Spindle Bearings, Hybrid

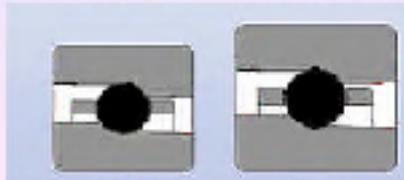


HC719.. HC70..

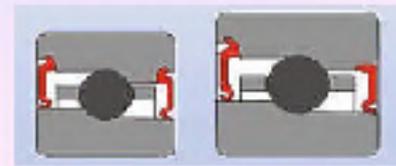


HCS719.. HCS70..

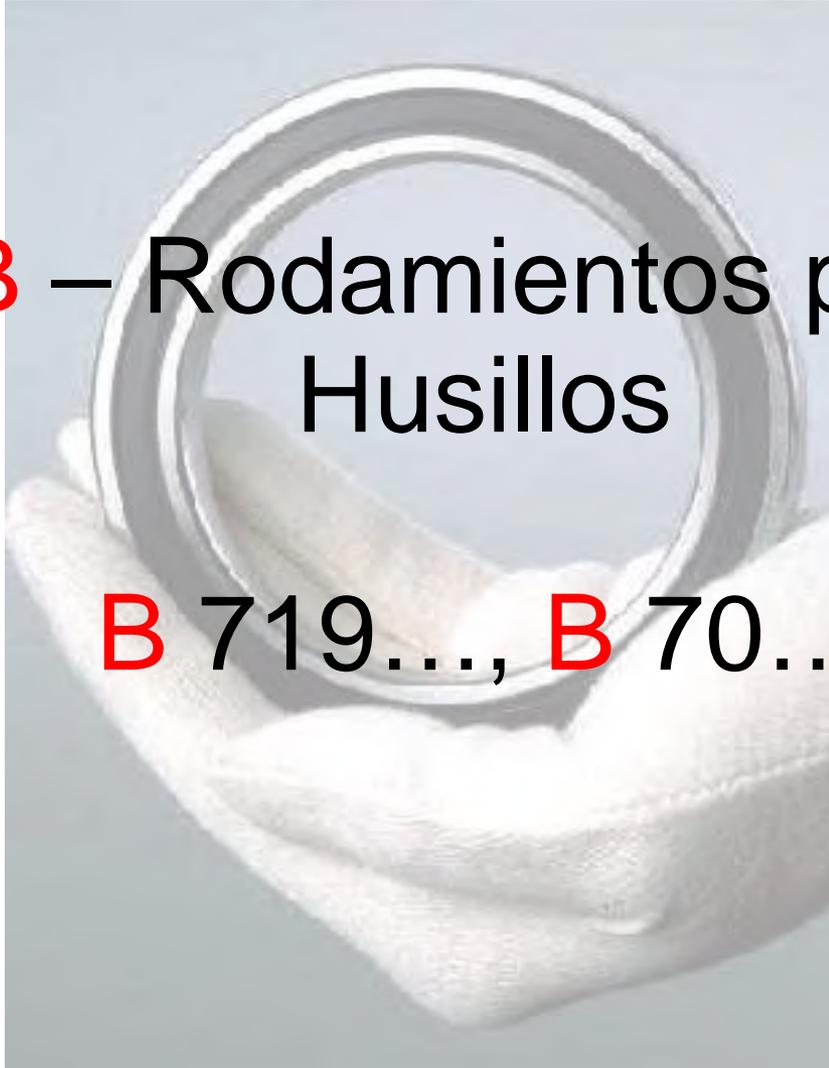
X-Life-ultra - Bearings Cronidur 30 H-Spindle Bearings (only Hybrid)



XC719.. XC70..



XCS719.. XCS70..



B – Rodamientos para
Husillos

B 719..., **B** 70...



B – Rodamientos para Husillos
sellados

**B 719..C.2RSD, B 70..E.2RSD,
B72..C.2RSD**

Rodamientos de Husillos sellados

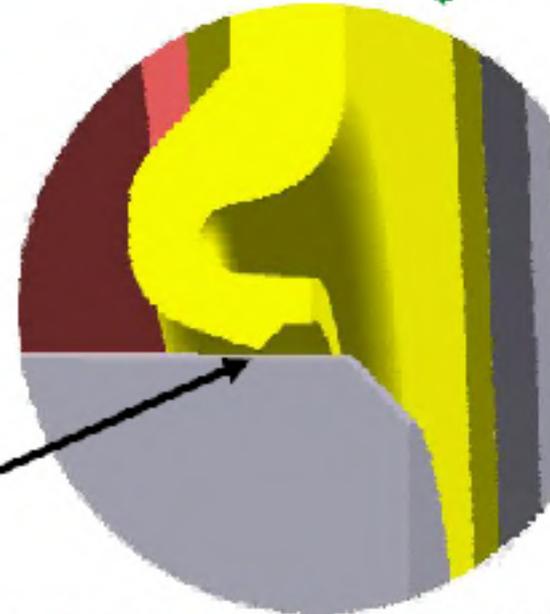
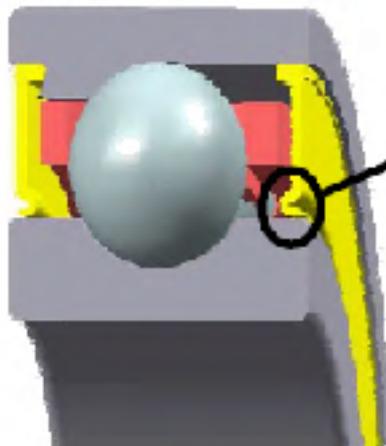
Spindle Bearings, Sealed



B...2RSD, HCB...2RSD, XCB...2RSD
HSS, HCS, XCS

**Spindle Bearing Seals are NON
 Contacting Seals !**

- no friction generated
- no speed limitation compared
 with open bearings

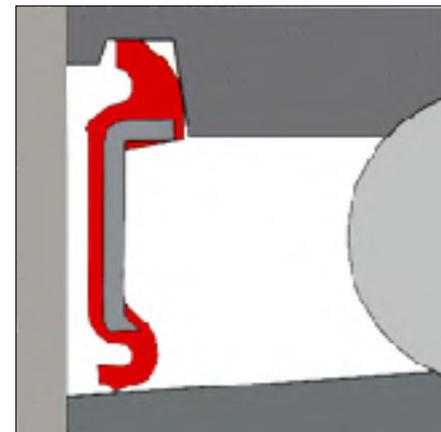
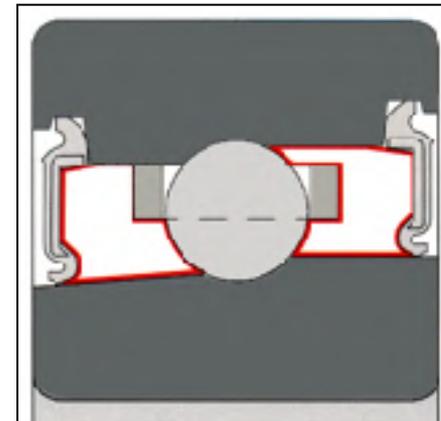


- most suitable grease type (standard: FAG L75)
- correct grease quantity
- inspected grease (quality)
- safe mounting and handling
- protection against contamination
- reduced grease loss (quantity)

Rodamientos de Husillos sellados

Propiedades

- *Disponibles en alta velocidad (bolas pequeñas) y híbrido (bolas de Cerámica) diseños de hasta 130mm diámetro*
- *Espacio para grasa amplio para una vida de servicio larga*
- *Sellos sin contacto, no impactan en valores como la baja fricción, baja temperatura de los rodamientos de husillos sin sellos (abiertos)*



Rodamientos de Husillos sellados

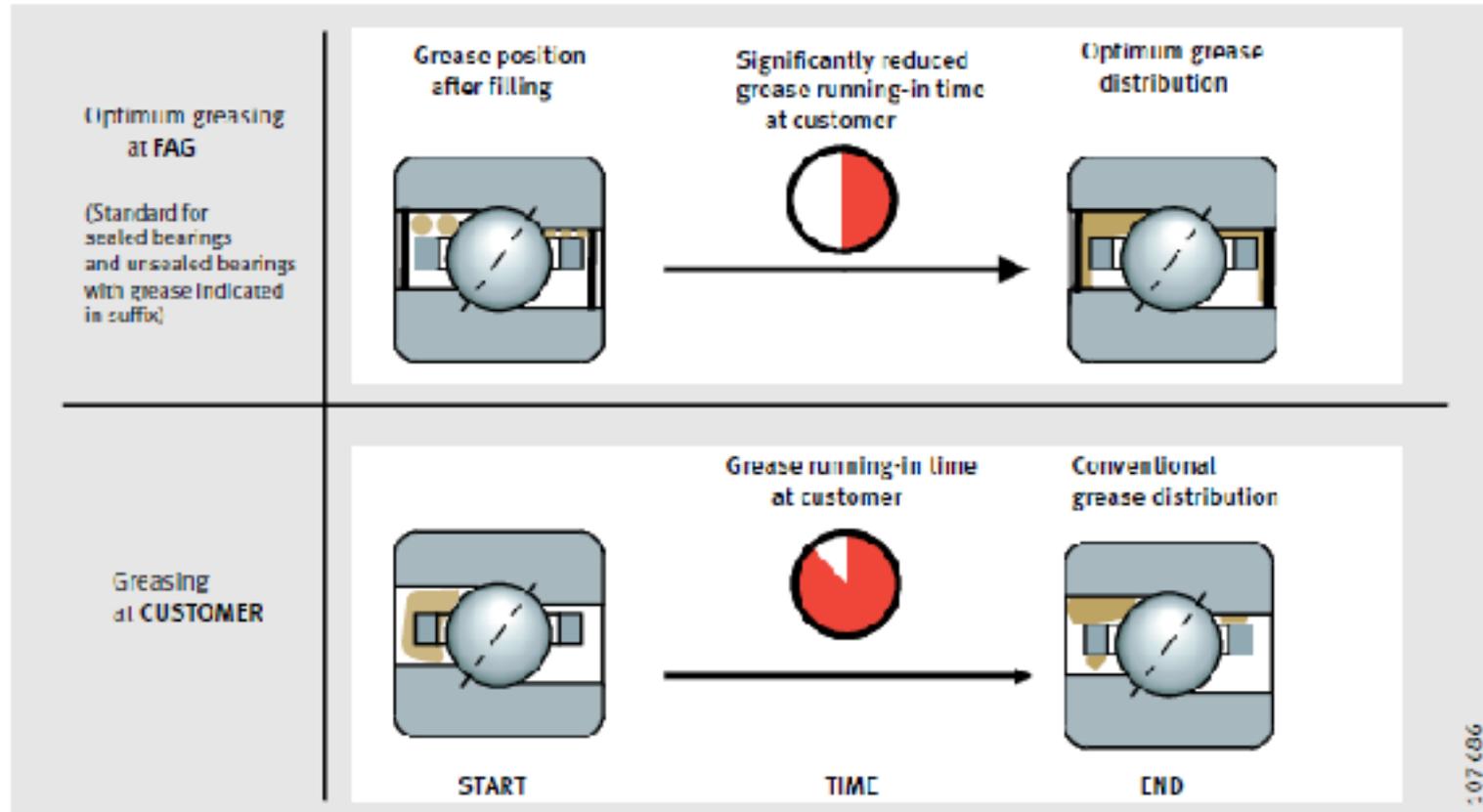


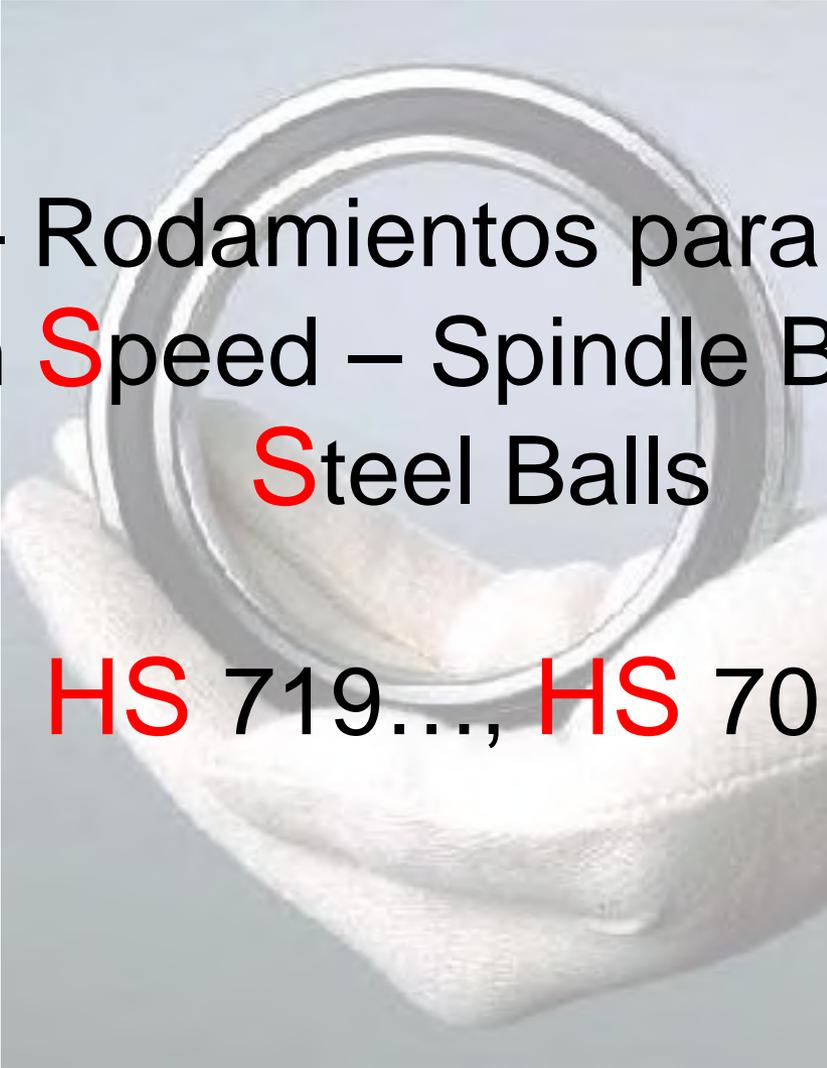
Figure 2: Grease running-in time



3: Rodamientos obturados para husillos

Rodamientos de Súper-precisión Alta Velocidad



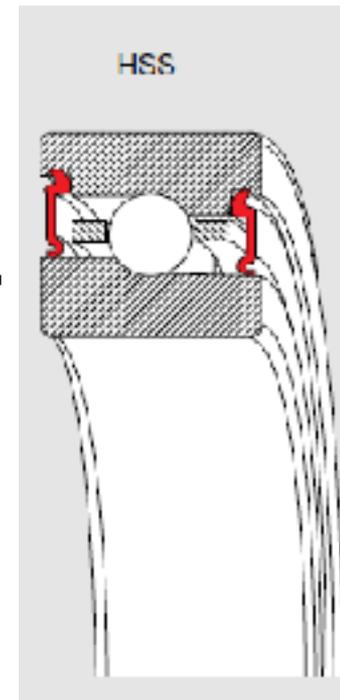


HS – Rodamientos para Husillos
High **S**peed – Spindle Bearings
Steel Balls

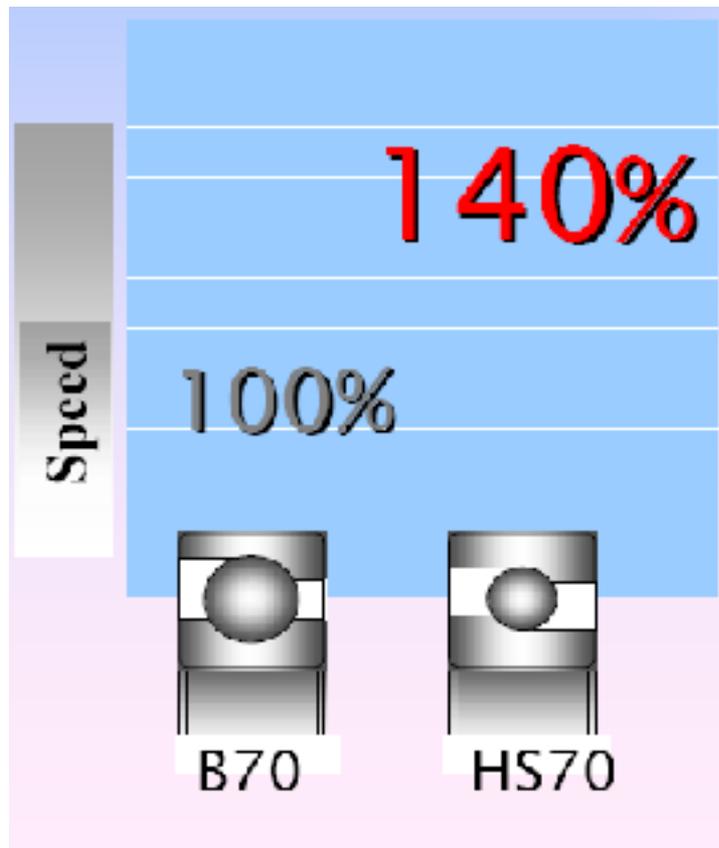
HS 719..., **HS** 70...

HSS – Rodamientos para Husillos
High **S**peed – Spindle Bearings
Steel Balls, **S**ealed

HSS 719..., **HSS 70...**



Rodamientos de Súper-precisión Alta Velocidad



40%
más velocidad

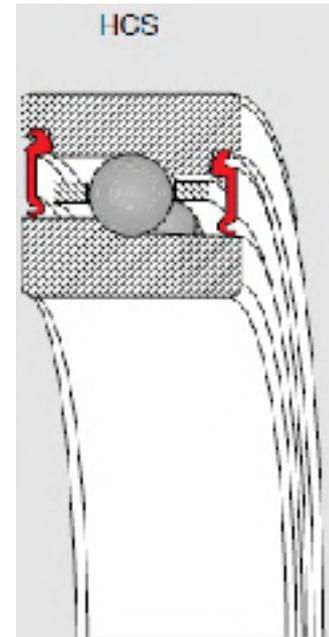
HC – Rodamientos para Husillos
High Speed – Spindle Bearings
Ceramic Balls

HC 719..., **HC** 70...

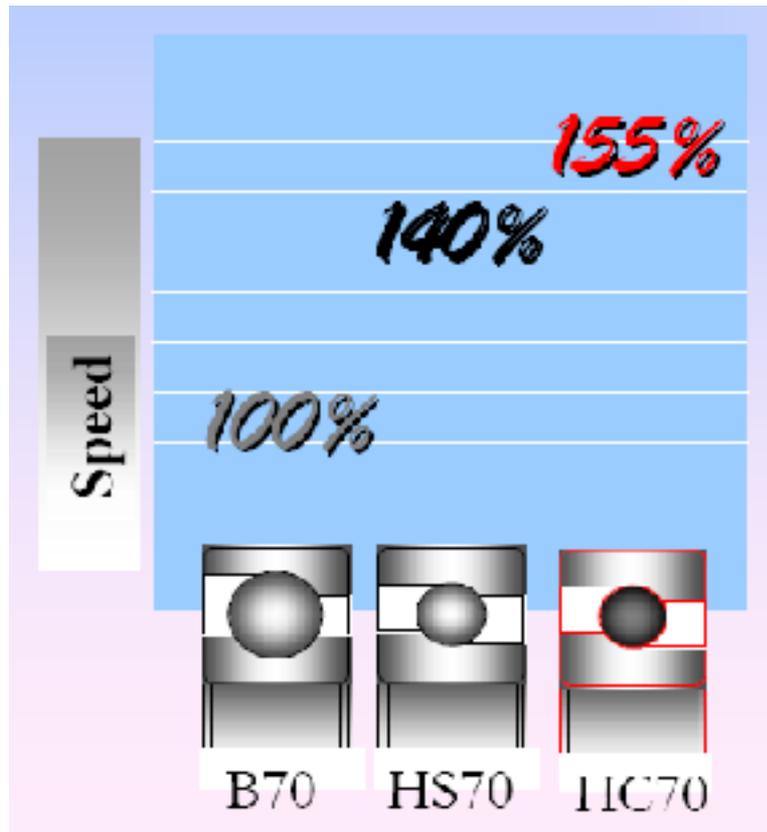


HCS – Rodamientos para Husillos
High Speed – Spindle Bearings
Ceramic Balls, **S**ealed

HCS 719..., **HCS** 70...



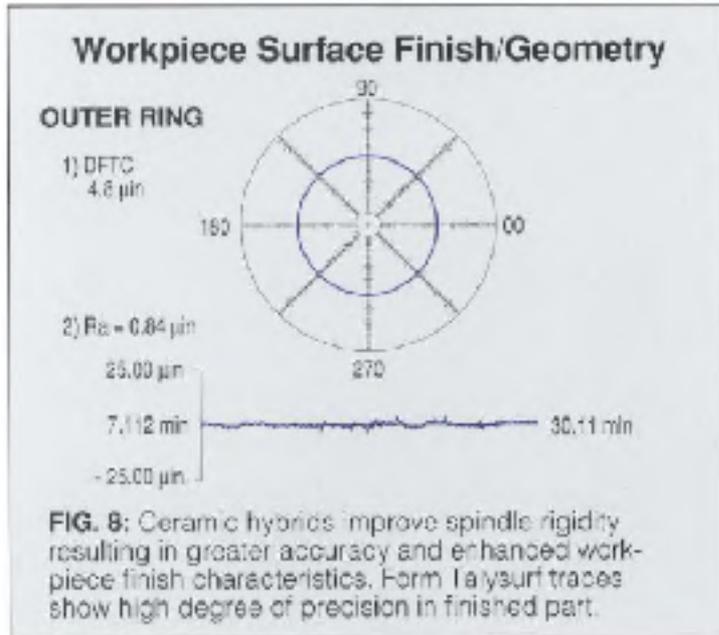
Rodamientos de Súper-precisión Híbridos de Alta Velocidad



55%

más velocidad
que un
rodamiento
estandar

Bolas de Cerámica ventajas



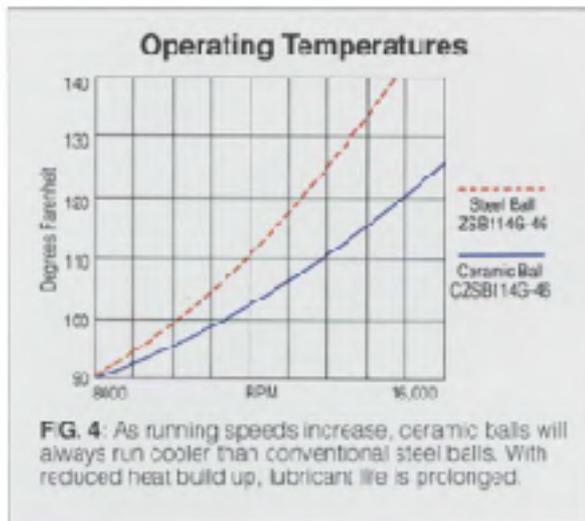
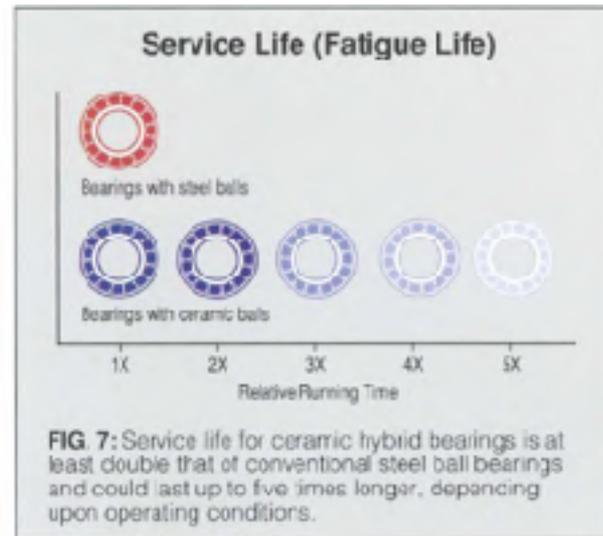
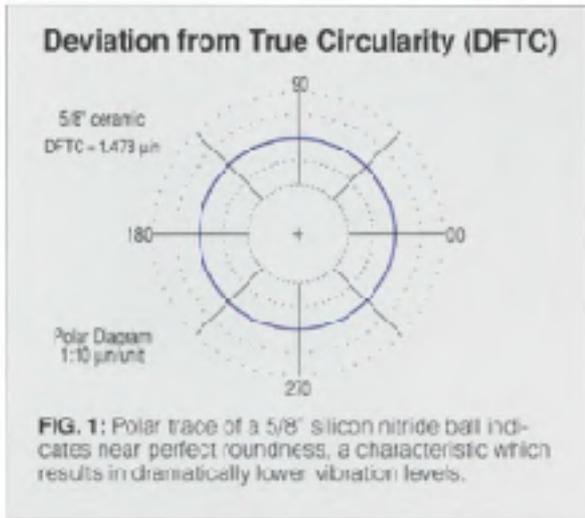
Comparison of Bearing Steel and Silicon Nitride Properties

FIG. 9:

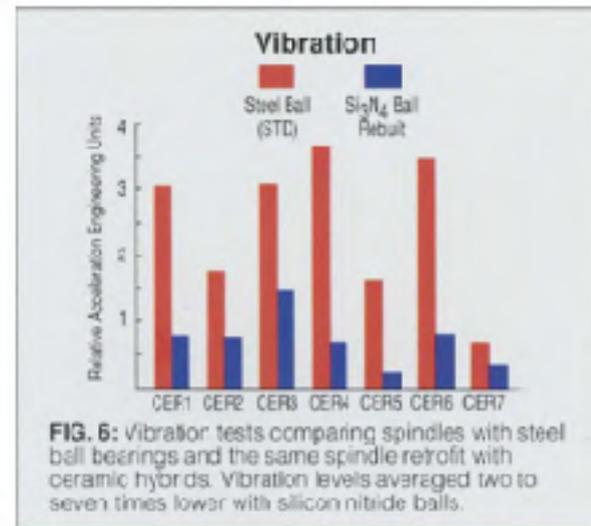
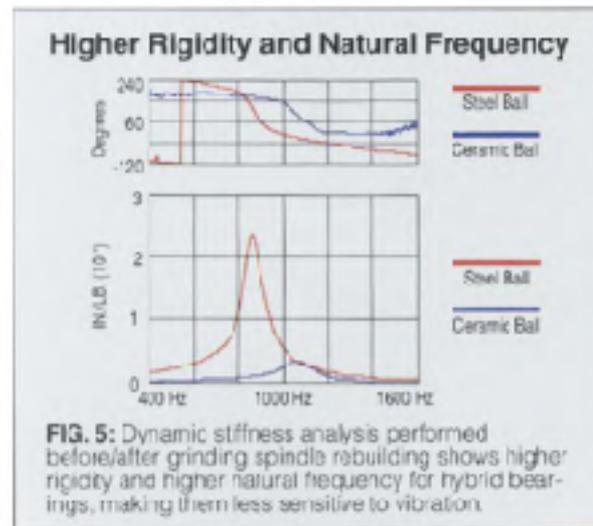
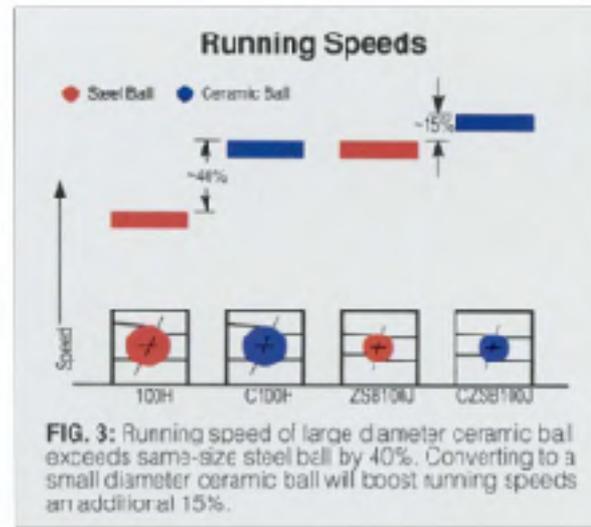
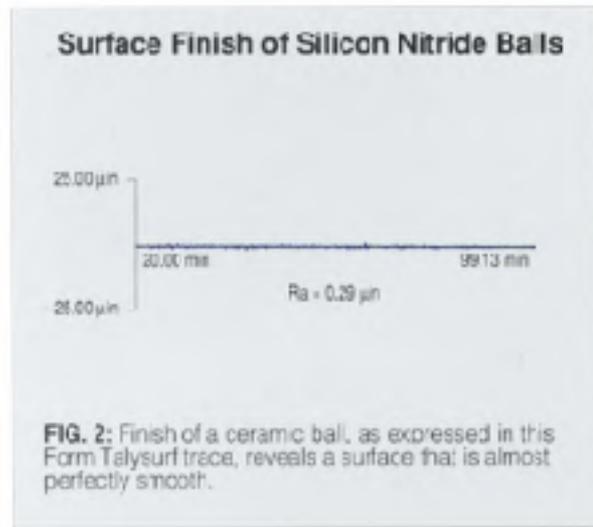
Property	Steel	Ceramic
Density (g/cm ³)	7.8	3.2
Elastic Modulus (10 ⁴ psi)	30	45
Hardness	R _c 60	R _c 78
Coefficient of thermal expansion (X10 ⁻⁶ /°F)	6.7	1.7
Coefficient of friction	0.42 dry	0.17 dry
Poisson's ratio	0.3	0.26
Maximum Use Temperature (°F)	620	2,000
Chemically Inert	No	Yes
Electrically Non-Conductive	No	Yes
Non-Magnetic	No	Yes



Bolas de Cerámica ventajas



Bolas de Cerámica ventajas





X-Life-Ultra – Rodamientos para Husillos

(X) Cronidur, C Ceramic Balls

XC 719..., XC 70...

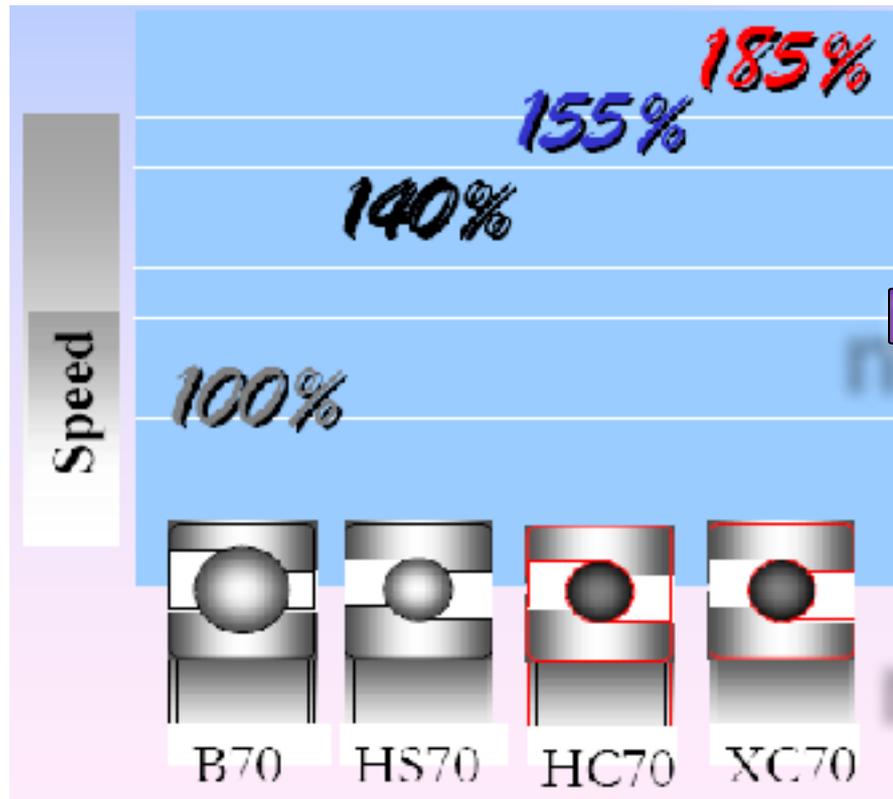


X-Life-Ultra – Rodamientos para
Husillos

(X) Cronidur, **C**eramic Balls,
Sealed

XCS 719..., **XCS** 70...

Rodamientos de Súper-precisión X-life Ultra - de Alta Velocidad



85%

**más velocidad
que un
rodamiento
estandar**

Rodamientos de Súper-precisión X-life Ultra - de Alta Velocidad



Rodamientos X-life ultra

Los rodamientos X-life ultra se diseñaron para hacer frente a las máximas sollicitaciones en cuanto a la aptitud para altas velocidades y para la capacidad de carga. Se trata de rodamientos híbridos con anillos de Cronidur 30, un acero inoxidable altamente nitrurado. Frente al acero convencional para rodamientos, **100Cr6, Cronidur 30** tiene una composición estructural considerablemente mas fina, lo que garantiza *un funcionamiento mas frio y mayores presiones superficiales admisibles*.

En ensayos en cuanto a la duración de vida a la fatiga de los materiales, se han superado los valores de calculo normales, de tal forma que se puede presuponer, prácticamente, una gran resistencia a la fatiga para el área de la aplicación.

También bajo condiciones de rozamiento mixto, *este acero alcanza hasta diez veces mas duración que el material estándar 100Cr6.*

Este acero es, asimismo, significativamente superior en términos de *presiones de Hertz, resistencia a la corrosión y dureza*. La mayor duración de los rodamientos X-life ultra, frente a los rodamientos convencionales, se traduce Rodamientos X-life ultra también en una reducción de los costes del sistema. **Todos los diseños de rodamientos para husillos están disponibles como rodamientos X-life ultra.** Para aprovechar plenamente las ventajas de las eficaces características de los rodamientos **X-life ultra**, la construcción anexa de la disposición de rodamientos debe diseñarse adecuadamente.

Material Cronidur ® 30, para Rodamientos X-Life-ultra

Cronidur ® 30 es un acero inoxidable, altamente nitrurado desarrollado por rodamiento FAG, en colaboración con la *Universidad de Bochum* y *VSG Energie Technik Alemania*.

Cronidur ® 30 es un acero martensítico endurecido, que debido a su aleación de **carbono, nitrógeno, cromo y molibdeno**, presenta una mejor *resistencia a la corrosión*, mejorando su *dureza y durabilidad a las altas temperaturas*.

Cronidur ® 30 es adecuado siempre que sea necesario una dureza extrema y una larga vida.

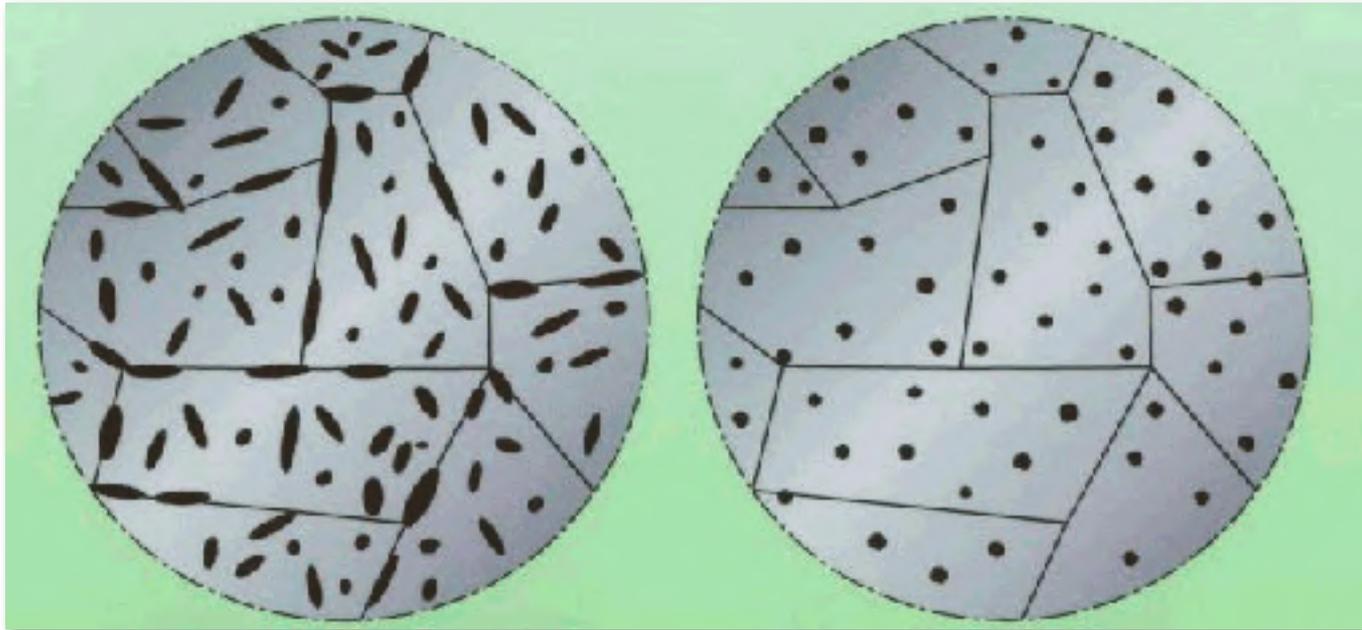
Las pruebas han demostrado rodamientos fabricados con acero **Cronidur ® 30** puede alcanzar velocidades de 2.0 millones de factor de velocidad $n \cdot dm$ con grasa a temperaturas estables, mientras que los rodamientos híbridos convencionales llegan a su límite en 1.5 millones de $n \cdot dm$.

La resistencia a la corrosión del acero **Cronidur ® 30** es *100 veces mejor* que la del **acero 440C**, considerado durante mucho tiempo el material con mayor resistencia a la corrosión para rodamientos.

dm = diámetro medio en mm
n = velocidad en rpm

Estructura mecanográfica del **Cronidur® 30** para Rodamientos X-Life-ultra

Dispersión de Carburos y Carbo-nitruros



Acero inoxidable 440C
Carburos

Cronidur ® 30
Carbo-nitruros

Componentes de Aleaciones de 2 Aceros de Rodamientos Standard y Cronidur 30

Material	C	N	Si	Cr	Mo
100Cr6	1,00	-	0,25	1,45	-
Cronidur 30®	0,31	0,38	0,55	15,2	1,02
440C	1,08	-	0,40	17,00	0,52



Alloying components

Material	C	N	Si	Cr	Mn
100Cr6	1,00	-	0,25	1,45	-
Cronidur 3C	0,31	0,38	0,55	15,2	1,02
440C	1,08	-	0,40	17,0	0,52

Alloying components

Material	Hardness	Usual opt. temp range	Bending fatigue strength	Fracture elongation	
				Length	Diameter
				[HRC]	[°F]
100Cr6	>58	482	15.950.000	1.0	0,3
Cronidur 3C	>58	734	22.330.000	3.0	2,0
440C	>58	482	58	0.2	



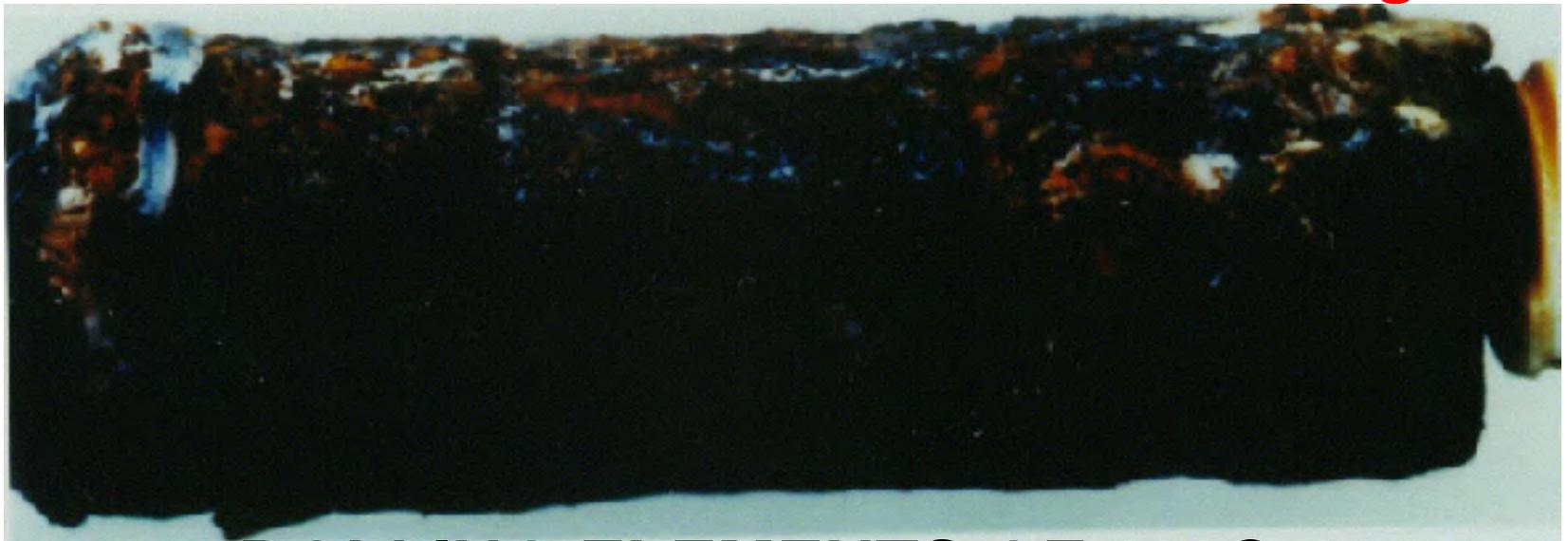
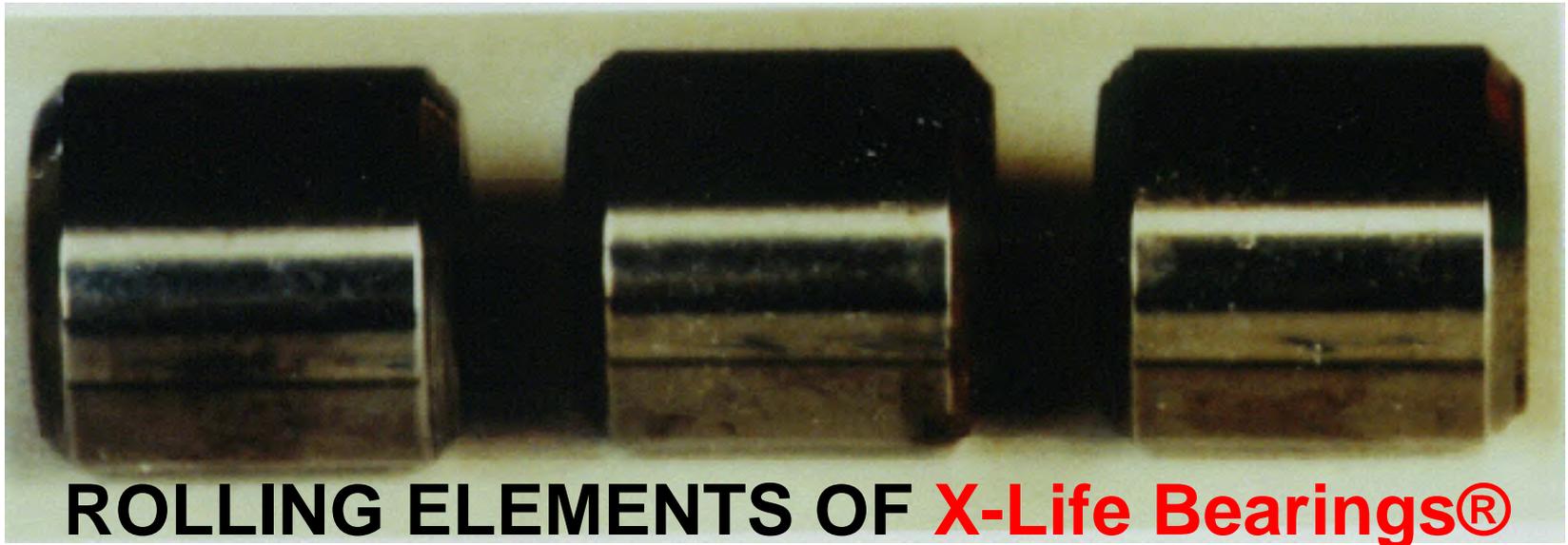
Advantages

- Extremely resistant to corrosion
- Suitable for high temperatures
- Higher Hertzian contact pressure values permissible
- Lower operating temperatures
- Increased grease service life and bearing life
- Reduced wear



Customer benefits

- FAG X-life ultra bearings for highest speeds and Hertzian pressures
- Options for smaller bearing sizes machines can be downsized
- Oil lubrication can be replaced by grease lubrication
- Available in all series and designs (open / sealed / as DIRECT LUBE bearing)
- Less machine downtimes due to longer bearing life
- Reduced system costs



X-Life Bearings®

Multiple service life of X-Life bearings:

At least Factor 10 in the space shuttle

At least Factor 10 in motor saws

At least Factor 4 in mining pumps

Ejemplos de Aplicaciones rodamientos FAG X-Life®

NASA – turbo bomba de combustible Space Shuttle

SIKORSKI – rodamientos del rotor del helicóptero Helibus S-92

STIHL – rodamientos de sierra de cadena (aro interior de rodamientos de Bolas)

SPINDLE bearings – Rodamientos en husillos de potencia 80kW y velocidades de 40,000 rpm.



X-Life® Bearings – En las bombas de impulsión principal del transbordador Espacial NASA

PRATT & WHITNEY
HIGH PRESSURE TURBOPUMPS
Line Replaceable Units for the Space Shuttle Main Engine



Fuel Turbopump

Propellant:	Liquid Hydrogen
Speed:	96,210 rpm
Discharge Pressure (max):	6,600 psi
Flow:	162 lb/sec (11,500 gpm)
Shaft Horsepower:	73,000 hp
Turbine Inlet Temperature:	1,900 °R
Service Life:	60 Missions
Design Life:	240 Missions

Oxidizer Turbopump

Propellant:	Liquid Oxygen
Speed:	25,600 rpm
Discharge Pressure (max):	7,850 psi
Flow:	1,170,000 cu ft (3,150 gpm)
Shaft Horsepower:	27,560 hp
Turbine Inlet Temperature:	1,500 °R
Service Life:	60 Missions
Design Life:	240 Missions



P.O. Box 10952
 Prattville, AL 36074-0952
 407.966.0000



Denominación de Rodamientos para Husillos **FAG**

Serie de Medidas

- 718** Serie Ultraligera
- 719** Serie Ligera
- 70** Serie Intermedia
- 72** Serie Pesada

B 70 08 C	.T.P4S.DUL
HSS 70 08 C	.T.P4S.DUL
HCB 70 08 C	DLR.T.P4S.DUL
B 70 08 C	.2RSD.T.P4S.DUL
B 70 08 C	.T.P4S.DUL.L75

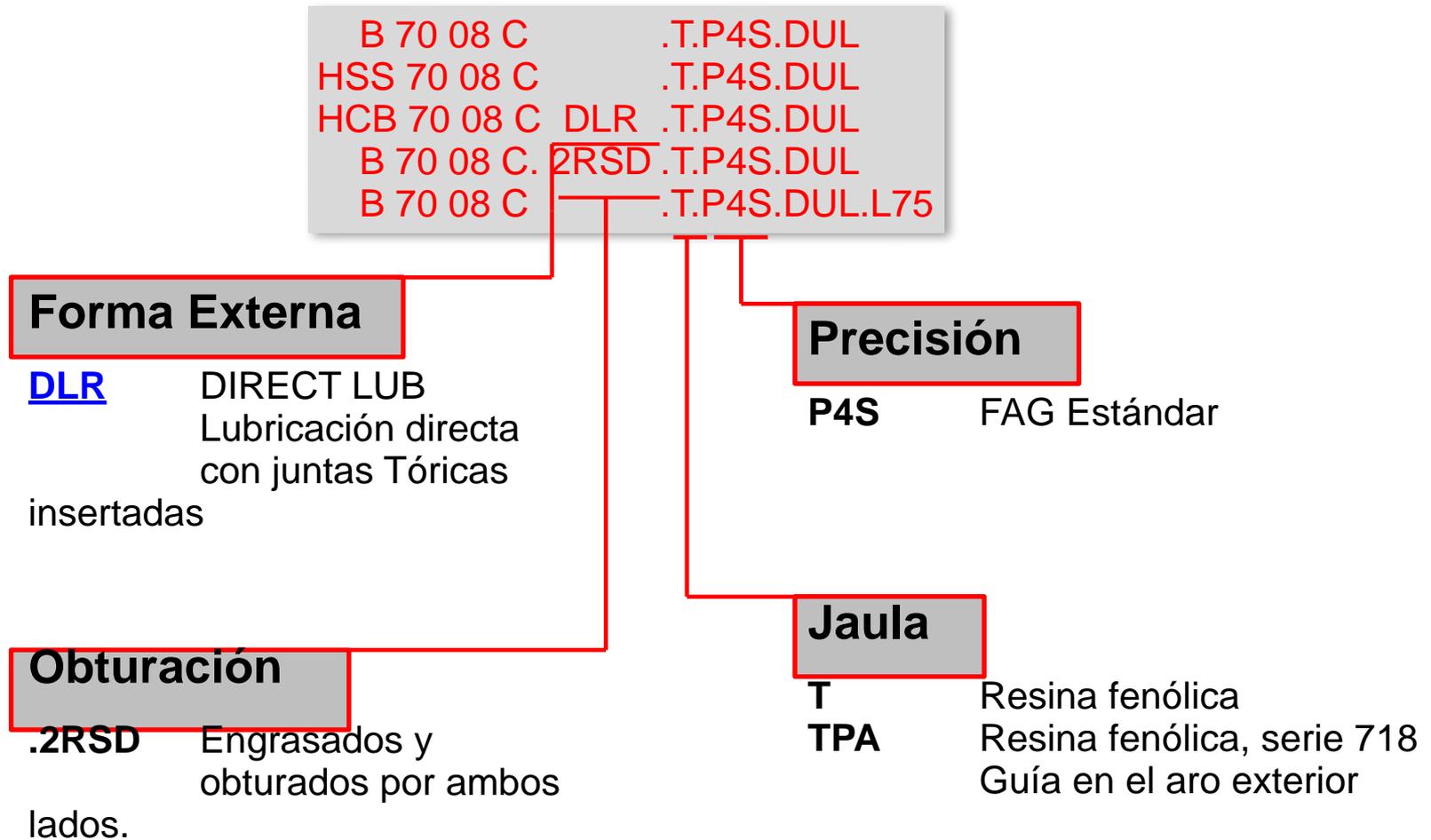
Número característico del agujero

6	6 mm	
7	7 mm	
8	8 mm	
9	9 mm	
00	10 mm	
01	12 mm	
02	15 mm	
03	17 mm	
04	4 * 5 = 20 mm	
05	5 * 5 = 25 mm	Etc.

Ángulo de contacto

C	15°
E	25°

Denominación de Rodamientos para Husillos **FAG**



Denominación de Rodamientos para Husillos **FAG**

Disposición de los rodamientos

U	Rodamientos individuales Disposición Arbitraria
DU	Grupo de 2 rodamientos univ.
TU	Grupo de 3 rodamientos univ.
QU	Grupo de 4 rodamientos univ.
PU	Grupo de 5 rodamientos univ.
DB	Grupo de 2 rodamientos Disposición en O
DF	Grupo de 2 rodamientos Disposición en X
DT	Grupo de 2 rodamientos Disposición en Tándem
TBT	Grupo de 3 rodamientos Disposición en Tándem-O
QBC	Grupo de 4 rodamientos Disposición Tándem-O-Tándem

B 70 08 C .T.P4S.DUL
 HSS 70 08 C .T.P4S.DUL
 HCB 70 08 C DLR .T.P4S.DUL
 B 70 08 C .2RSD.T.P4S.DUL
 B 70 08 C .T.P4S.DUL.L75

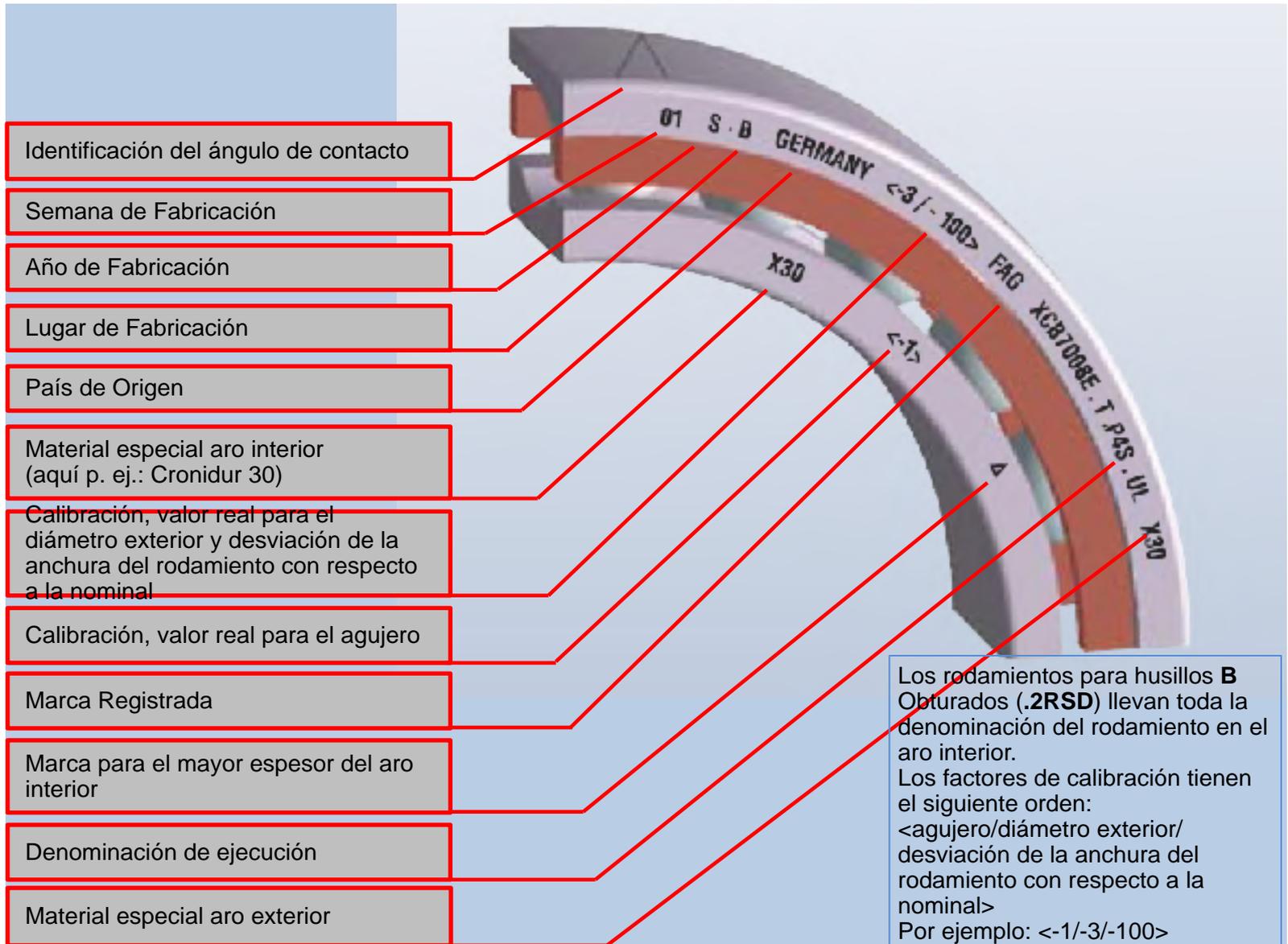
Precarga

L	Ligera
M	Media
H	Alta

Llenado de Grasa en Fabrica

L75 Grasa Arcanol L75 actual (Speed 2,6) de FAG, para rodamientos abiertos.
 Los rodamientos obturados por ambos lados están engrasados de por vida con grasa Speed2,6 como estándar

Explicación de la designación de Rodamientos FAG para Husillos



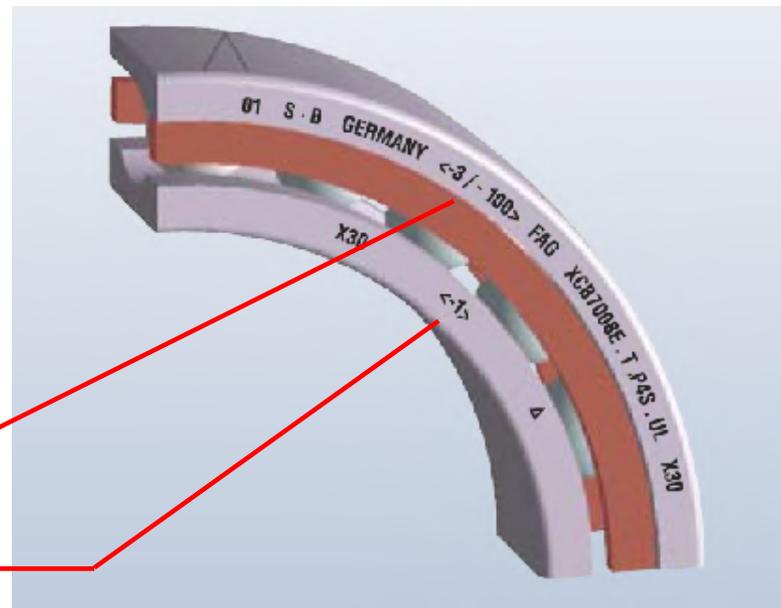
Calibración de piezas

Los ajustes influyen en gran medida en el funcionamiento de un rodamiento. Por este motivo, puede resultar recomendable **ajustar el rodamiento al diámetro del alojamiento o del husillo**. En el caso de los rodamientos para husillos, las *tolerancias de agujero y diámetro exterior se ha dividido en grupos, cuya dimensión media se ha indicado en la caja y el rodamiento.*

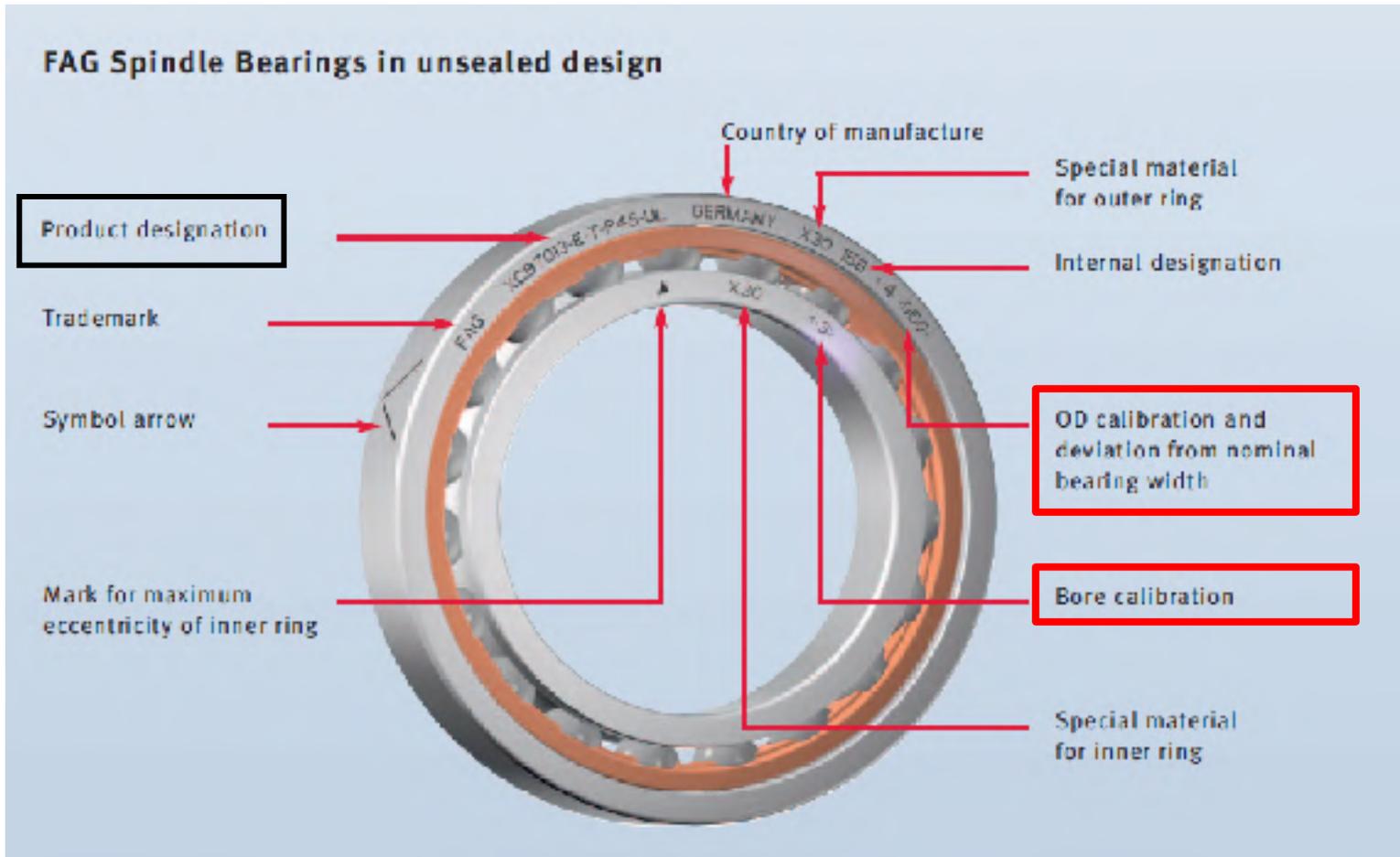
La anchura de un rodamiento para husillos se ha marcado, como diferencia de la medida nominal, también en el rodamiento.

Calibración, valor real para el diámetro exterior y desviación de la anchura del rodamiento con respecto a la nominal

Calibración, valor real para el agujero

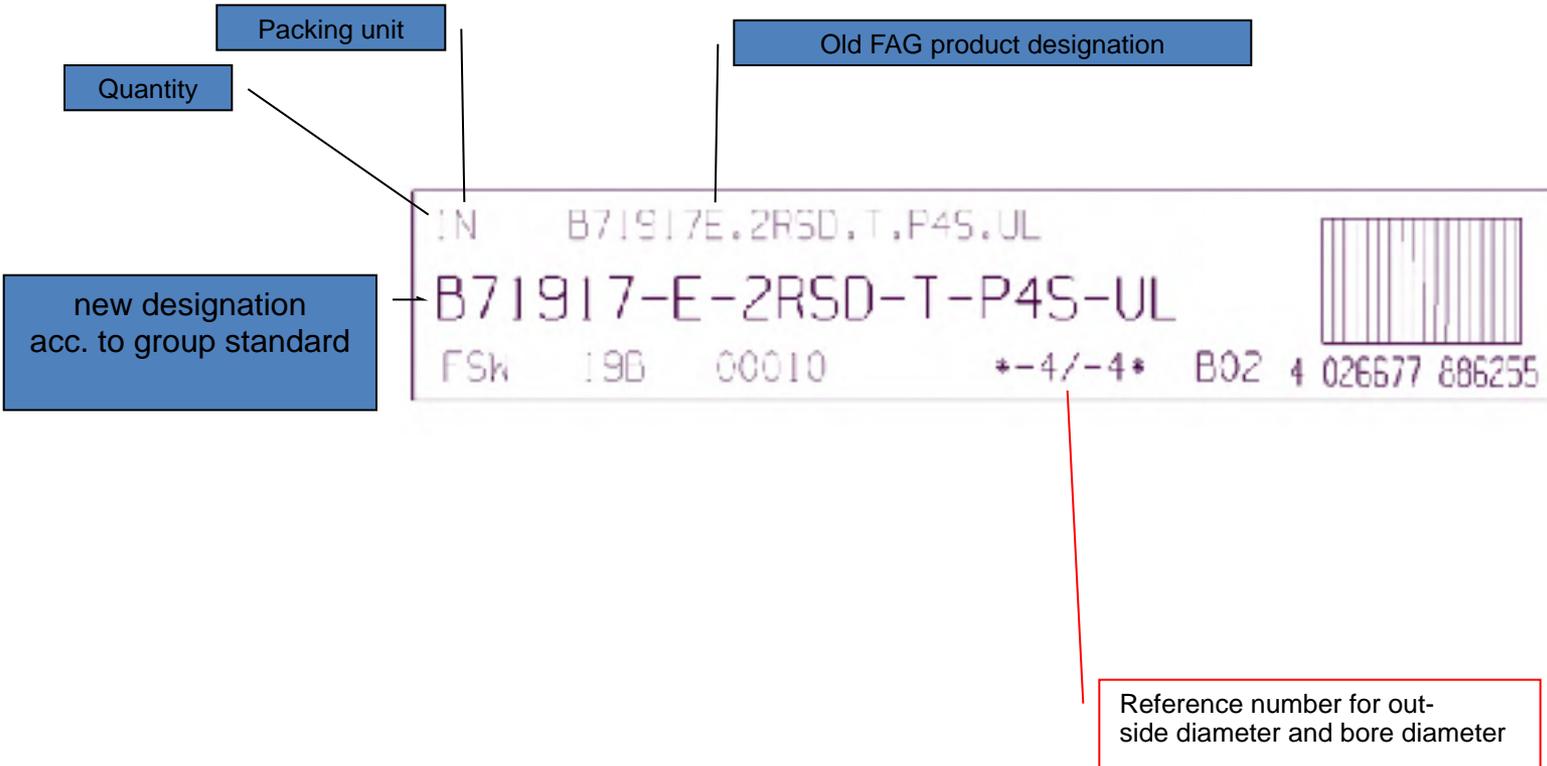


Bearing designation acc. to group standard S120070-1



Marking of labels acc. to Group Standard S120070-1

Label marking in compliance with S120070-1 at the example of the neutral label format 81 mm of x 15 mm



Conclusiones:

Se puede ofrecer las opciones de montaje selectivo o aleatorio dependiendo de la aplicación en vista, los valores de calibración encontrados en los rodamientos y las cajas de empaque, son dados para un montaje selectivo que como se menciona, y se utiliza donde se requiere que no existan ajustes extremos por variaciones estadísticas de las dimensiones involucradas.

En General, el montaje aleatorio se recomienda para cualquier rodamiento de un lote dado en cualquier flecha ó alojamiento, solo que con el fin de mantener las ventajas de los rodamientos de precisión la flecha y el alojamiento, se debe tener las mismas tolerancias que la de los rodamientos usados

Barden especifica las siguientes opciones de **calibración de Rodamientos** para husillos

RANDOM AND SELECTIVE FITTING

Random fitting of precision bearings entails installation of any standard bearing of a given lot on any shaft or in any housing. In order to retain the performance advantages of precision bearings, the shaft and housing should have the same diametral tolerance as the bearing being used. This procedure will result in some extreme fits due to statistical variations of the dimensions involved.

For applications that cannot tolerate extreme fits, it is usually more economical to use selective fitting with calibrated parts rather than reducing the component tolerances.

Selective fitting utilizes a system of sizing bearings, shafts and housings within the diametral tolerance range and selectively assembling those parts which fall in the same respective area of the range. This practice has the advantage of reducing the fit range from twice the size tolerance to ± 0.0001 " without affecting the average fit.

Tabla de Homologación de Rodamientos FAG vs. otras marcas

FAG	FAFNIR	SNFA	GMN	NSK	RHP	SKF	SNR	BARDEN
B71800		SEA					71800	
B71900	MM9300	SEB	S61900	7900	7900	71900	71900	1900H
HS71900	MM99300	VEB		BNC19	S7900	71900CE		
HSS71900	MM99300..VV							
B7000	MM9100	EX	S6000	7000	7000	7000	7000	100H
HS7000	MMV9100	VEX	SH6000	BNC10	S7000	7000CC 7000CE		
HSS7000	MMV9100..VV							
B7200	MM200	E 200	S6200	7200	7200	7200	7200	200H
76020		BS 200				BSA2		
HC71900	MMVC9300	VEX../NS						

Selección del ángulo de contacto adecuado para el rodamiento

Los dos ángulos de contacto suministrables tienen diferentes ventajas y áreas de aplicación

Ángulo de contacto	15°	25°
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> Rigidez radial Capacidad de carga radial Velocidad algo más alta con pequeño ΔT 	<ul style="list-style-type: none"> Rigidez axial Rigidez radial del sistema Capacidad de carga axial Capacidad de carga radial y axial combinadas Elevado ΔT entre IR y AR
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> Rectificadoras Lapeadoras Lado de la correa en las rodaduras 	<ul style="list-style-type: none"> Tornos Fresadoras Taladradoras Centros de mecanizado Electromandrilos

Ángulo de Contacto del Rodamiento

Los ángulos de contacto de rodamientos para husillos tienen diferentes ventajas y áreas de aplicación de acuerdo a la tabla.

Contact angles, advantages and applications

Advantages and applications	Contact angle		
	15°	20°	25°
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> ■ Radial rigidity ■ Radial load carrying capacity ■ Somewhat higher speed at small ΔT 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Good axial and radial rigidity ■ Combined loads ■ Very high speeds at high ΔT 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Axial rigidity ■ Radial system rigidity ■ Axial load carrying capacity ■ Combined axial and radial load carrying capacity ■ High permissible ΔT between inner ring and outer ring
Applications	<ul style="list-style-type: none"> ■ Grinding machines ■ Precision machining equipment ■ Bearing arrangement on belt side 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Milling at high output ■ Machining centres ■ Motor spindles 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Lathes ■ Milling machines ■ Drilling machines ■ Machining centres ■ Motor spindles

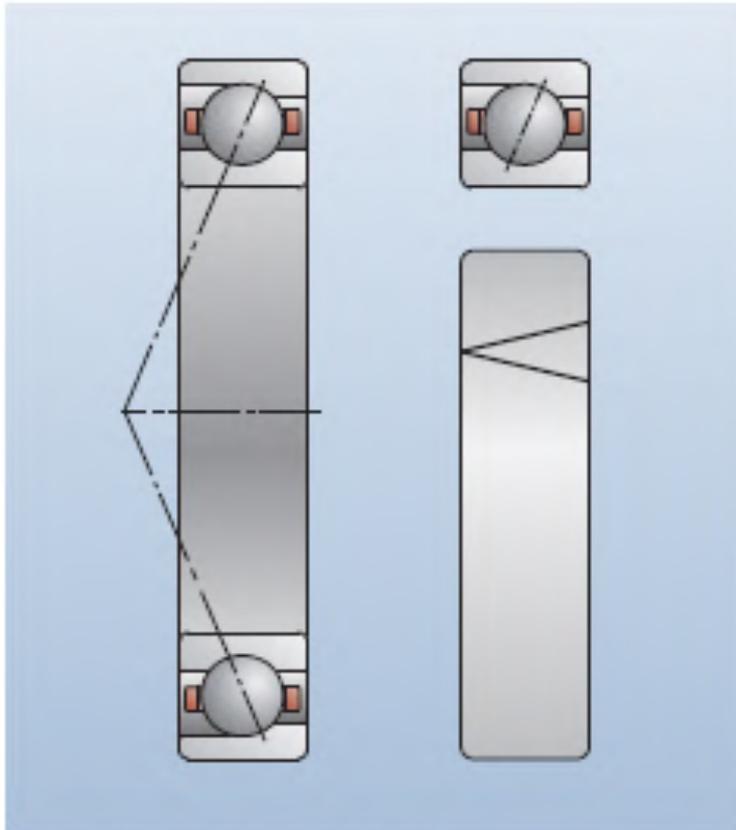
Ángulo de Contacto del Rodamiento

1: Criterios de selección para el ángulo de contacto del rodamiento

Tamaño de la bola/ Material de la bola Tipo de rodamiento	Carga	Velocidad	Duración en servicio
Tamaño/Acero B...	Elevada	Media	Buena
Pequeña/Acero HS..	Media	Elevada	Mejor
Tamaño/Cerámica HCB..	Media	Elevada	Mucho mejor
Pequeña/Cerámica HC..	Reducida	Muy elevada	La mejor
Rodamientos X-life ultra XC., XCB..	Premium	Premium	Premium

2: Comparación de rendimientos de diferentes ejecuciones de rodamientos

IDENTIFICACIÓN DEL ÁNGULO DE CONTACTO



9: Marcado del ángulo de contacto en rodamientos individuales

Rodamiento Individual

La posición del ángulo de contacto se ha marcado con una flecha en el diámetro exterior del rodamiento.

[Arreglos](#)

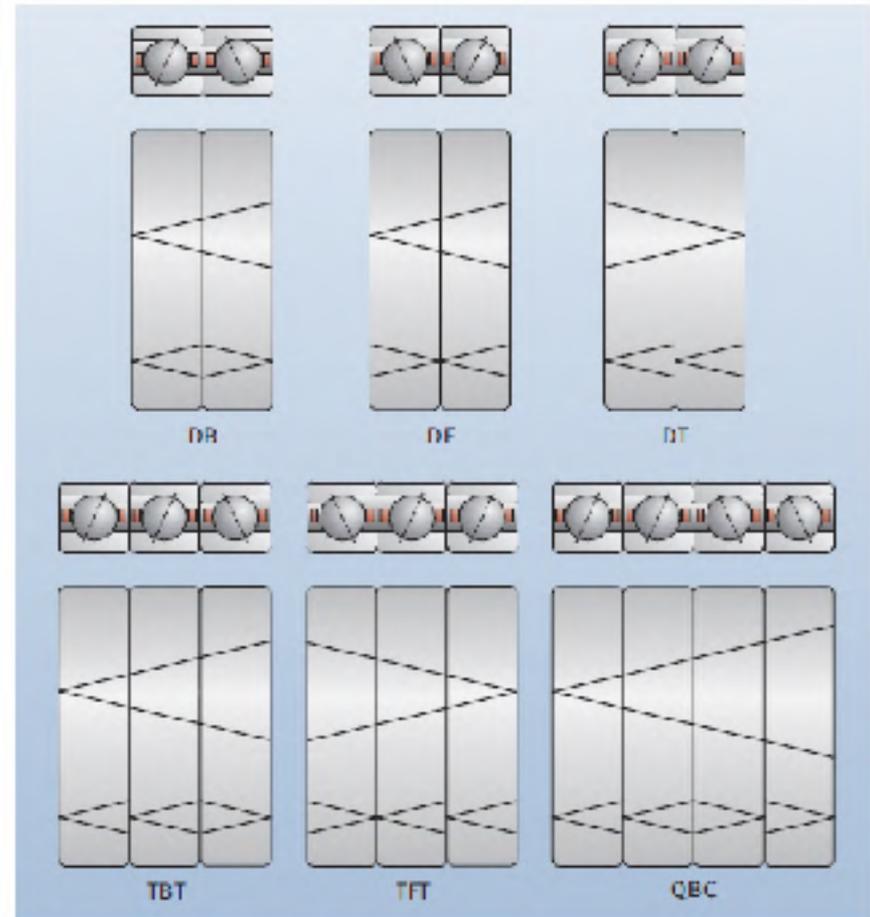
Referencia y marcado de los grupos de rodamientos

Los grupos de rodamientos se componen de rodamientos con diámetros exteriores y agujeros ajustados.

D 2 unidades - Rodamiento doble
T 3 unidades – Rodamiento triple
Q 4 unidades – Rodamiento cuádruple

En el caso de rodamientos preparados para el montaje, la segunda y tercera letra hacen referencia a la disposición de los rodamientos.

B Disposición en O, Back to Back (espalda con espalda).
F Disposición en X, Face to Face (cara a cara).
T Disposición en tándem
BT Disposición en O, contra un grupo en tándem de 2-3 rodamientos
FT Disposición en X, contra un grupo en tándem de 2-3 rodamientos



10: Ejemplos de grupos de rodamientos listos para el montaje



Principios Técnicos

RIGIDEZ

LUBRICACIÓN

TOLERANCIAS

APLICACIONES

MONTAJE

Elasticidad y rigidez

La rigidez de un grupo de rodamientos depende de la disposición de los mismos y de la precarga. La rigidez total de sistema se determina fundamentalmente, aparte de la rigidez de los rodamientos, también por la rigidez del eje y del alojamiento.

Rigidez axial c_a

La rigidez axial se define como el cociente entre la carga axial y la deformación axial.

$$c_a = F_a / \delta_a$$

c_a = Rigidez axial [N/ μ m]

F_a = Carga axial [N]

δ_a = Deformación axial [μ m]

Fuerza de descarga K_{aE}

Si un grupo de rodamientos es cargado con una fuerza axial y centrada, cada rodamiento es cargado, como resultado de la deformación y de su ángulo de contacto, contra la dirección de la fuerza, mientras que el rodamiento montado en oposición queda simultáneamente descargado.

La fuerza de descarga K_{aE} se define como aquella fuerza que descarga los rodamientos al liberar la carga axial actuante de forma centrada en el grupo de rodamientos.

Rigidez Axial C_a

Disposición de los rodamientos	Sufijo	c_a N/ μ m	K_{aE} $\alpha = 15^\circ$ y $\alpha = 25^\circ$ N
	DB	$c_a^{1)}$	$3 \cdot F_V$
	TBT	$1,64 \cdot c_a$	$6 \cdot F_V$
	QBC	$2 \cdot c_a$	$6 \cdot F_V$
	QBT	$2,24 \cdot c_a$	$9 \cdot F_V$
	PBC	$2,64 \cdot c_a$	$9 \cdot F_V$

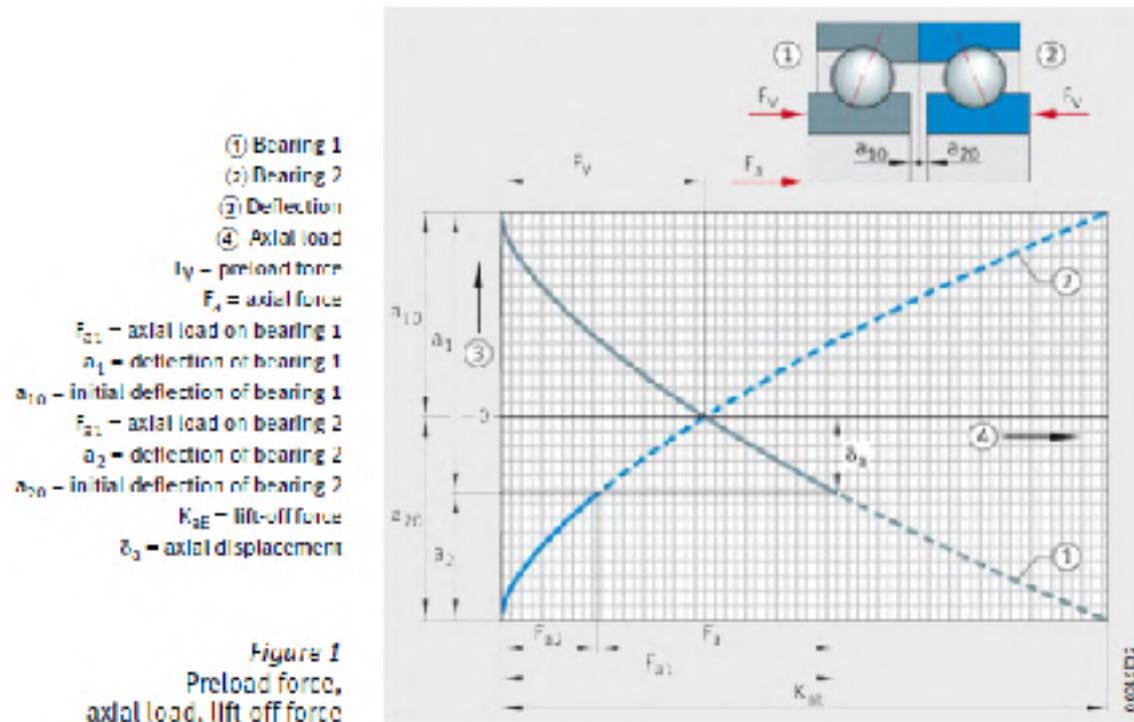
K_{aE} = Fuerza de descarga F_V = Fuerza de precarga ¹⁾ Tablas de rodamientos

15: Rigidez axial c_a de grupos de rodamientos con una carga axial y centrada

Fuerza de descarga K_{aE}

Si un grupo de rodamientos es cargado con una *fuerza axial y centrada*, cada rodamiento es cargado, como resultado de la deformación y de su ángulo de contacto, contra la dirección de la fuerza, mientras que el rodamiento montado en oposición *queda simultáneamente descargado*.

La fuerza de descarga K_{aE} se define como *aquella fuerza que descarga los rodamientos al liberar la carga axial actuante de forma centrada en el grupo de rodamientos*.



La fuerza de Descarga K_{aE} corresponde a una fuerza axial externa F_a arriba de la cual, la precarga deja de tener efecto. En el ejemplo rodamiento 2 esta relevado de carga y es entonces libre de precarga, *Figura 1*.

Rigidez Radial C_r

Rodamientos para husillos

La deformación de un grupo de rodamientos es casi lineal hasta la fuerza de descarga, para la que un rodamiento queda libre de cargas. Los valores de rigidez axial c_a indicados en las tablas de los rodamientos, son válidos para parejas de rodamientos en disposiciones O y X. La rigidez radial c_r puede ser estimada a partir de la rigidez axial mediante un factor.

$$c_r \approx 6 \cdot c_a \text{ para } \alpha = 15^\circ$$

$$c_r \approx 2 \cdot c_a \text{ para } \alpha = 25^\circ$$

Para grupos de más de dos rodamientos se incrementan los valores de la rigidez y de la fuerza de descarga. La tabla 15 muestra los valores aproximados para la rigidez axial y para la fuerza de descarga, con una fuerza axial y centrada. La rigidez radial para aquellos grupos sometidos a una carga radial actuando en el centro del grupo se calcula, aproximadamente, según la tabla 16, a partir de la rigidez radial para una pareja de rodamientos.

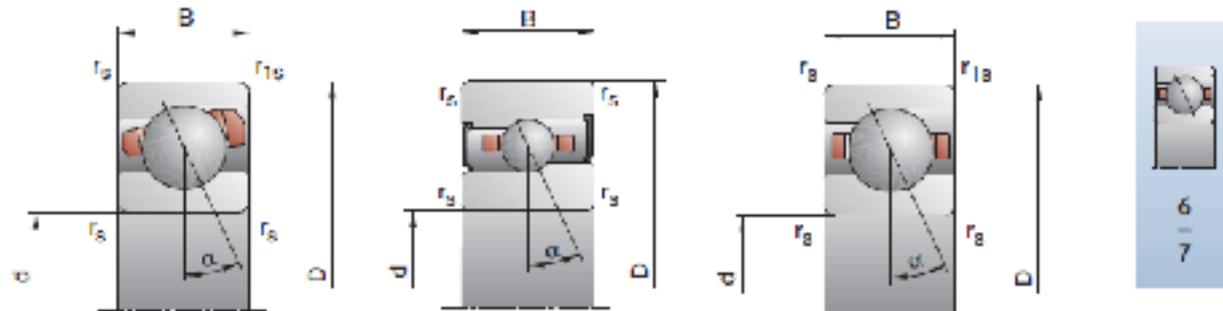
Disposición de los rodamientos	Sufijo	c_r N/ μ m
	DB	c_r
	TBT	$1,36 \cdot c_r$
	QBC	$2 \cdot c_r$

16: Rigidez radial c_r de grupos de rodamientos. La carga radial actúa en el centro del grupo.

B718..C/E, B719, B70, B72 HS719..C/E, HS70

C: Ángulo de contacto $\alpha = 15^\circ$

E: Ángulo de contacto $\alpha = 25^\circ$



Velocidad de rotación alcanzable**		Fuerza de precarga F_y			Fuerza de descarga*** K_{dE}			Rigidez axial*** C_a			Ejecución obturada*	Peso	Referencia
Grasa	Aceite mínimo	L	M	H	L	M	H	L	M	H		kg	FAG
min^{-1}		N						N/ μm					
95 000	160 000	9	34	77	28	119	294	8,6	16,4	25,5	—	0,005	B706-CT-P4S
85 000	140 000	14	60	132	42	187	429	20,9	36,5	51,4	—	0,005	B706-CT-P4S
170 000	190 000	5	17	39	15	56	138	7,5	13,0	19,5	—	0,004	HCB706-CT-P4S

* • = opción seleccionable; — = no posible

** ver capítulo Ingeniería, velocidad

*** ver capítulo Ingeniería, elasticidad y rigidez

Precarga

PRELOADING BEARINGS

What is preload? Preloading is the removal of internal clearance in a bearing by applying a permanent thrust load to it.

Why preload bearings? Preloading is used to:

- Eliminate radial and axial play.
- Increase system rigidity.
- Reduce nonrepetitive runout.
- Lessen the difference in contact angles between the balls and both inner and outer rings at very high speeds.
- Prevent ball skidding under very high acceleration.

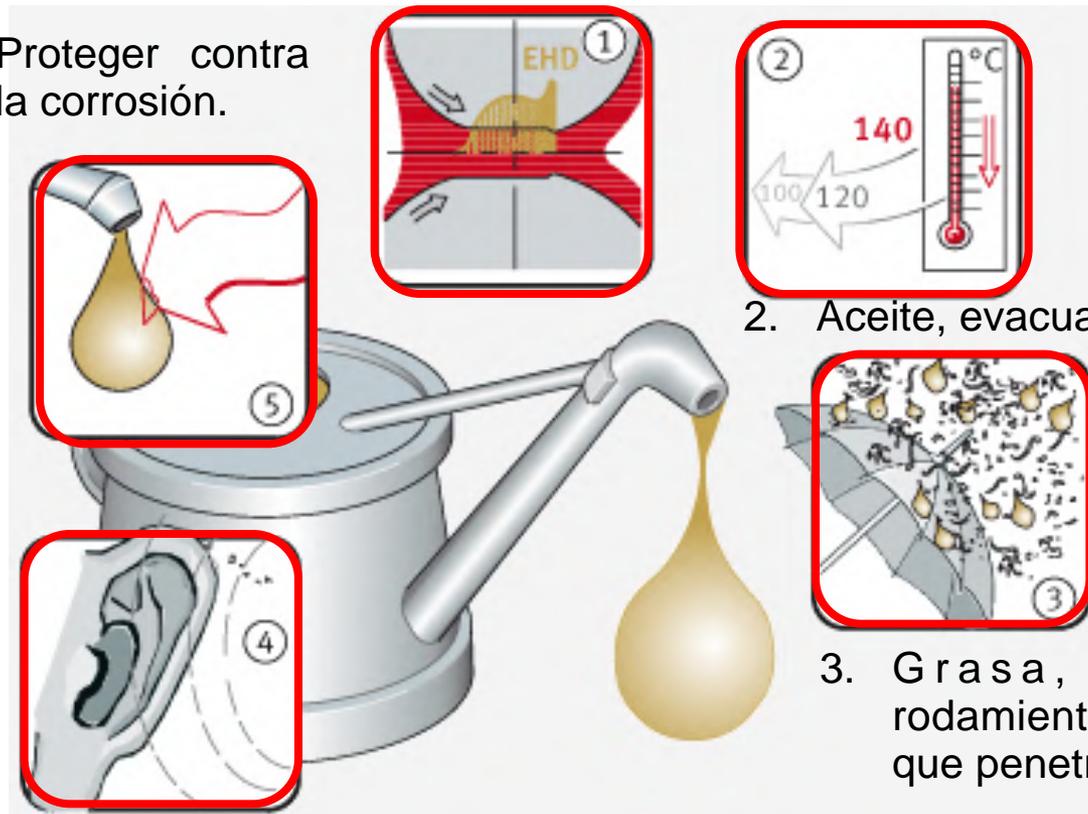
Presentación Precargas

LUBRICACION

FUNCION DEL LUBRICANTE

1. Película lubricante entre las superficies en contacto y evitar el desgaste y la fatiga prematuras.

5. Proteger contra la corrosión.



2. Aceite, evacuar el calor.

3. Grasa, obturar el rodamiento para evitar que penetre suciedad.

4. Amortiguar el ruido.

LUBRICACION

SELECCIÓN DEL TIPO DE LUBRICACION

Durante la construcción, definir lo antes posible si los rodamientos se deben lubricar con grasa o aceite.

Para el tipo de lubricación y la cantidad de lubricante son esenciales:

- Las condiciones de funcionamiento
- El tipo y el tamaño del rodamiento
- La construcción anexa
- La forma de aportación del lubricante.



LUBRICACION

CRITERIOS PARA LUBRICACION

GRASA	ACEITE
<ul style="list-style-type: none">• Costos Reducidos• Efecto Obturador• Reengrase, espacios para grasa usada• Larga duración en servicio, “for life”• No evacua el calor• No efecto de lavado de partículas	<ul style="list-style-type: none">• Buena aportación y distribución• Obturación sofisticada• Reengrase, conducción sofisticada• Lubricación mínima, pérdidas por rozamiento mínimas• Evacua el calor• Lavado de partículas• Funcionamiento extremo, bajo consulta

Lubricación

Una condición esencial para:

- alcanzar una larga duración de servicio,
- funcionar sin desgaste y
- con reducido nivel de vibraciones es una película lubricante que separa los elementos rodantes en el área contacto.

Esto se consigue si:

- se garantiza en todo momento la presencia de lubricante en todos los puntos de contacto
- se determina el procedimiento de lubricación adecuado para la velocidad de giro exigida y
- se selecciona un lubricante con las propiedades adecuadas.

Viscosidad del lubricante

La condición de la película lubricante se determina mediante la relación de viscosidades κ , que se define como el cociente entre la viscosidad de servicio v y la viscosidad de referencia v_1 .

La viscosidad de referencia v_1 es una función del tamaño del rodamiento y de la velocidad y puede obtenerse del diagrama 1. La viscosidad de servicio es la viscosidad realmente existente en el lubricante durante el funcionamiento. Esta viscosidad es una función de la temperatura de funcionamiento y de la viscosidad básica del lubricante y se determina mediante el diagrama 2. En el caso de las grasas, se utiliza la viscosidad del aceite base. Para un funcionamiento con éxito, se debe obtener una viscosidad, a la temperatura de servicio, que sea, como mínimo, el doble de la viscosidad de referencia,

$\kappa = v/v_1 \geq 2$. Mayores relaciones de viscosidades no conducen a mejorar la película lubricante y aumentan el rozamiento.

Lubricación con grasa

El desarrollo, en el caso de las grasas y los rodamientos, se ha traducido

en un aumento considerable del rendimiento, sobre todo, en lo que respecta a las velocidades alcanzables. Hoy, todavía son posibles valores característicos de velocidad $n \cdot dm$ hasta **2 000 000 mm/min.**

El empleo de rodamientos para husillos inicialmente engrasados y obturados “**for life**” ofrece otras ventajas como, por ejemplo, una máxima limpieza, ya que el interior del rodamiento está protegido contra la suciedad. La manipulación durante el montaje también resulta mas sencilla.

La tabla 3 ofrece los datos de las grasas adecuadas para los rodamientos de superprecisión.

FAG ARCANOL L075 (Speed 2,6) es una grasa para uso a altas velocidades en el amplio ámbito de aplicación de los rodamientos para husillos altamente revolucionados de todo tipo, hasta una temperatura continua de **80 °C**, medida en el anillo exterior. Debido a la refrigeración usual en los electromandrilos, *estos apenas alcanzan los 80 °C*, por lo que la **grasa Arcanol L075 puede calificarse como grasa estándar para rodamientos para husillos.**

FAG ARCANOL L210 también se emplea a altas velocidades y, gracias a la alta viscosidad de su aceite base, entra en servicio a temperaturas permanentes de *mas de 80 °C hasta aprox. 100 °C.*

FAG ARCANOL L055 es una grasa para altas presiones que demuestra con creces su eficacia en los rodamientos para los extremos de los husillos a bolas, en platos divisores y, por ejemplo, también en los rodamientos para las puntas de centrado de cabezales móviles.

GRASAS APROPIADAS PARA RODAMIENTOS DE SUPER-PRECISION

Grasa ARCANOL de FAG	L075	L210	L055
Designación DIN 51 502	KE3K-50	KHC3P-40	KP2N-40
Espesante	Poliurea	Poliurea	Litio
Aceite base	PAO/éster	PAO/éster	Aceite mineral + éster
Viscosidad del aceite base mm ² /s			
a 40 °C	22	65	85
a 100 °C	5	10	12,5
Clase de consistencia	3	3	2
Temperatura de servicio sin reducción por tiempo de parada °C	hasta 80	hasta 100	hasta 70
Valor máximo característico de velocidad* mm/min	2 000 000	1 300 000	800 000
Utilizada como	Grasa para altas velocidades		Grasa para altas presiones
Grasa estándar para	HSS, HCS, XCS B, HCB... PRSD		

* El valor característico de velocidad $n \cdot d_m$ es el producto del diámetro medio del rodamiento y de la velocidad de giro (valores válidos para contacto puntual)

Criteria for selecting grease for main spindle bearings:

Grease function:

- Separating lubricating film
- As little friction as possible

Grease usage depending on:

- Maximum temperature, duration
- Maximum speed
- Load

Grease service life:

- Calculation based on average speed
- Service life 100 % to permanent limit temperature
- Service life reduction by 50 % upon exceeding the permanent limit temperature by 15 °C in each case

Machine tool main spindles, requirements:

- Minimum friction
- Speed suitability
- Durability
- Moderate temperature

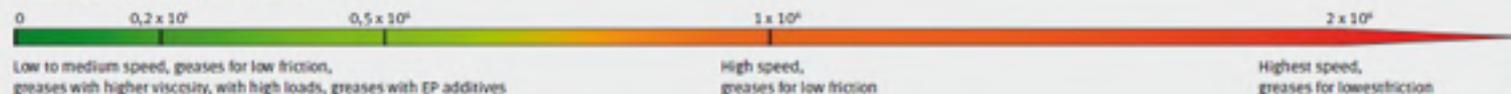
Standard L75 grease covers all "normal" operating conditions here.

FAG Arcanol grease	L75	L210	L055
DIN 51 502 designation	KEHC3K-50	KHC3P-40	KPHC2N-40
Thickener	Polyurea	Polyurea	Lithium
Base oil	PAO/ester	PAO/ester	Mineral-PAO
Base oil viscosity mm ² /s at 40 °C	22	68	82
at 100 °C	5	10	12
Consistency class	3	3	2
Service temperature °C	-50 to +120	-40 to +160	-35 to +140
Permanent limit temperature °C	up to 80	up to 105	up to 80
Maximum speed characteristic mm/min	2 x 10 ⁶	1.3 x 10 ⁶	0.8 x 10 ⁶
Characteristic	High-speed grease, Lowest friction	High-speed grease, high-temperature grease, low friction	High-pressure grease with EP additives, low-noise, low friction
Use for	highest speeds	high temperatures	high loads with predominantly low speeds
Standard greasing in	HSS, HCS, XCS, B, HCB, XCB, FD...2RSD		
Specific weight (approx.) g/cm ³	0.92	0.85	0.9

Grease selection according to conditions of use:

a) High to highest speeds: - Highest speed suitability - Minimum friction - Low viscosity - Moderate temperature - Durability	FAG ARCANOL L075 is a grease for the highest speeds with the lowest amount of friction, suitable up to a permanent temperature of 80 °C measured on the outer ring.
b) High temperatures: - Higher service temperature - Higher viscosity - Higher friction - High speed suitability - Durability	FAG ARCANOL L210 is a grease designed especially for use in with higher permanent limit temperatures up to 105 °C. The higher viscosity ensures sufficient lubricating film thickness. If there is a bit more friction, the highest speeds are not reached. Other greases are available for even higher temperatures.
c) High loads at low speeds: - Higher viscosity - Additives for wear protection - Moderate temperature - Medium speed suitability - Durability	FAG ARCANOL L055 is for use with high loads (P/C > 0.15) at low speeds. The higher viscosity improves the lubricating film thickness and the presence of high-pressure additives (EP) ensures sufficient wear protection even at low speeds without separating lubricating film (chemical lubrication).

Speed characteristic [min⁻¹ x mm]:



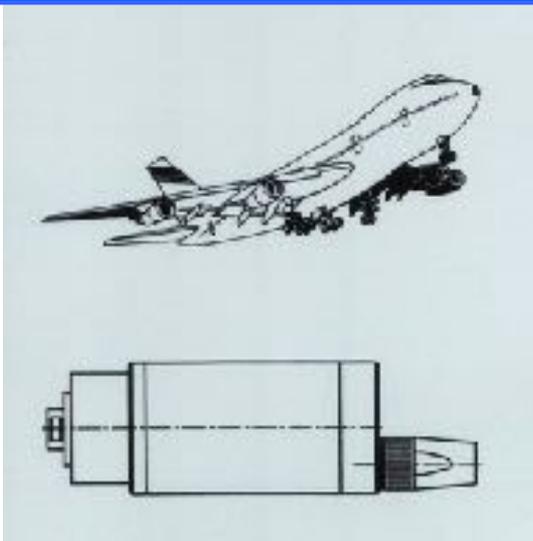
Factor de velocidad $n \times d_m$



v: 300 km/h

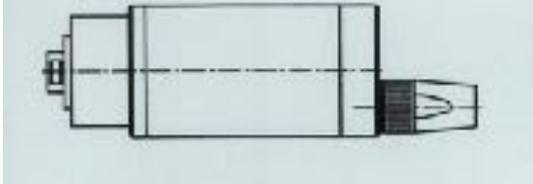
Operating speed of the wheel bearing: 2,500 rpm

$n \times d_m = 162,580 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$



Operating speed of the turbine bearing: 12,000 rpm

$n \times d_m = 3,200,000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$



v: 4.000 m/min

Operating speed of the spindle bearing: 30,000 rpm

$n \times d_m = 3,000,000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

- **Core business:**
Super precision bearings with highest accuracy

Factores de velocidad para Rodamientos unitarios

LUBRICACION

Greases	Designation				
	L075	L252	L055	L298	
Designation according to DIN 51825	KEHC3K-50	KHCP2/3K-40	KPHC2N-30	KPHCP3P-40	
Thickener	Poly-carbamide	Lithium complex	Lithium	Poly-carbamide	
Base oil	PAO and ester oil	PAO and ester oil	PAO and mineral oil	PAO and ester oil	
Base oil viscosity at	+40 °C	22	25	85	55
	+100 °C	5	5	12,5	9
NLGI class	3	2 to 3	2	3	
Maximum operating temperature ¹⁾ °C	80	80	80	110	
Speed parameter $n \cdot d_M^{2)}$ $\text{min}^{-1} \cdot \text{mm}$	2 000 000	2 000 000	800 000	1 300 000	
Specific mass $\approx \text{g/cm}^3$	0,92	0,94	0,9	0,86	
Application as	high speed grease		high pressure grease	high temperature grease	

1) Sin minimización de servicio de vida.

2) El factor de velocidad $n \cdot d_m$ es el producto de la velocidad de funcionamiento y el diámetro medio del rodamiento

SPEED2,6 *

Grasa especial para rodamientos de bolas

- Aplicaciones típicas
- Máquinas herramienta
 - Instrumentos

Adecuada para

- Bajas temperaturas ++
- Altas temperaturas 0
- Baja fricción
- Alta velocidad ++
- Grandes cargas, bajas velocidades --
- Vibraciones -
- Propiedades obturadoras 0
- Aptitud para relubricación +

Valoración

- ++ extremadamente adecuada
- + muy adecuada
- 0 adecuada
- poco adecuada
- no adecuada

Cantidades disponibles:

- 250 g tubo
- 1 kg bote
- 25 kg barril

* Antigua designación FAG: Arcanol L7

 FAG Industrial Bearings AG			
FAG Rolling Bearing Grease Arcanol SPEED2,6			
Properties, applications: Greases for high speed bearings			
Characteristics	Unit	Value	Test method
Marking		KE3K-50	DIN 51825
Colour		beige	
Temperature range	[°C]	-5 to 120	DIN 51825
Longtime limit temperature operations	[°C]	80	
Thickener		polyurea	
Type of base oil		SHCvector 44	
Base oil viscosity	at 40°C [mm²/s]	180 VG 21	DIN 51562 - 1
	at 100°C [mm²/s]	5	DIN 51562 - 1
Identification letter of additives		A, K, P	
Worked penetration	[0,1 mm]	150-280	DIN ISO 2107
Consistency	[NLGI-Cr.]	2-3	DIN 51818
Drop point	[°C]	>250	DIN ISO 2110
Oxidation stability			
Pressure drop after 100 h at 99 °C	[kPa]	<40	DIN 51808
Water resistance	[Page]	0-90	DIN 51807 - 1
Flow pressure at -90 °C	[mPa]	< 1400	ISO 15050
Error Test	[Corr Grad]	0/1	DIN 51802
Copper corrosion after 24 h/130 °C	[Corr Grad]	1	DIN 51811
Four ball wear load	[N]	1800	DIN 51358 - 4
Wear scar of four ball test	[mm]	0.43	DIN 51358 - 5
F08 tests (rolling element wear)			
53660 - 600 h - 10	v10 / d0 [µg]	< 1 / 5	DIN 51819
F10 tests (grease service lifetime)			
A / 1500 / 6000 - 120	F10P50 [h]	> 100	DIN 51821
Speed range:	Unit	Ball bearings and cylindrical roller bearings	Other roller bearings*)
Speed limit [m]	[mm/min]	2.000 G0	200/300

* Not cylindrical roller bearings and spherical roller bearings

This data is not taken into account by the spooling service
 The data are based on actual knowledge at the time of print and refer to the respective test method. Guaranteed properties or warranties cannot be taken over.
 Edition: 01.03.2002



Tabla2a: Grasa Especial de FAG SPEED 2,6 para rodamientos de bolas de alta velocidad

LUBRICACION

Cantidades de Grasa

Cada uno de los diseños de rodamiento precisa de cantidades de grasa diferentes.

Denom. abreviada FAG	Cantidad de grasa cm ³	Denom. abreviada FAG	Cantidad de grasa cm ³
7630012TVF	1,12	7612050TVF	10,90
7630015TVF	1,56	BSE060120T	6,45
7630017TVF	1,58	7613090TVF	59,40
7630020TVF	1,58	7612085TVF	13,60
BSE020047T	1,54	7613082TVF	58,40
7630030TVF	1,96	7612070TVF	14,60
7630025TVF	2,15	7613070TVF	53,70
76300251TVF	1,45	7612075TVF	17,20
BSE025062T	1,55	BSE075110T	5,45
7630030TVF	2,25	7613075TVF	41,40
BSE020062T	1,55	7612090TVF	49,70
7630030TVF	3,05	7613090TVF	48,90
7630035TVF	4,10	7612075TVF	24,70
BSE035072T	3,10	7613085TVF	55,30
7630035TVF	5,00	7612080TVF	50,10
BSE010072T	3,10	7613090TVF	64,70
7630040TVF	4,05	7612085TVF	56,20
BSE010090T	3,50	7613085TVF	75,10
7630040TVF	5,20	7612100TVF	41,40
BSE015075T	3,25	BSE100150T	16,60
7630045TVF	5,25	7613100TVF	68,40
RSE045100T	5,25	7612110TVF	57,90
7630045TVF	12,00	7613110TVF	108,00
7630040TVF	7,20	7612120TVF	67,60
BSE050100T	5,05	7612130TVF	72,70
7630050TVF	16,00	7612130TVF	72,70
BSE055090T	4,20	7630055TVF	3,70
7630055TVF	3,70	RSE055120T	3,15
RSE055120T	3,15	7630055TVF	19,90
7630055TVF	19,90		

Tabla3: Cantidades de grasa para rodamientos axiales de bolas de contacto angular de una hilera en cm³

LUBRICACION

Cantidades de Grasa

Las recomendaciones de las tablas 3 y 4 se han ajustado al espacio en el rodamiento que no se ve afectado por las piezas en rotación.

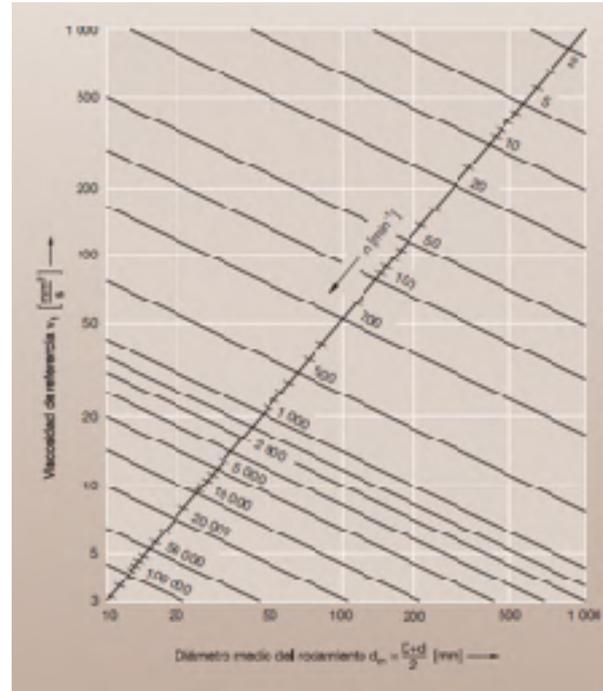
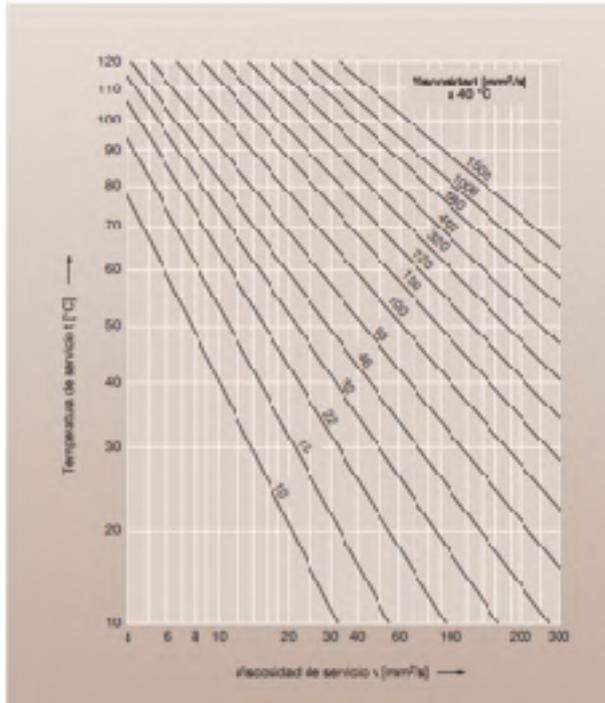
Factor agujero	Cantidad de grasa Serie de rodamientos									
	HS719	HC70	3719	B70	B72	N10	N19	NN30	NN49	2344
	HC719	HC70	HCB719	HCB70	HCB72	FCN10	FCN19			2347
	XC719	XC70	XCB719	XCB70	XCB72					
	cm ³									
6		0,12		0,04						
7		0,13		0,06						
8		0,17		0,11						
9		0,21		0,10						
00	0,17	0,26	0,09	0,17	0,26					
01	0,18	0,28	0,10	0,21	0,36					
02	0,28	0,46	0,17	0,32	0,48					
03	0,32	0,58	0,17	0,42	0,68					
04	0,58	0,98	0,36	0,78	1,12					
05	0,68	1,14	0,40	0,88	1,44					
06	0,92	1,72	0,42	1,12	2,10			1,56		3,30
07	1,18	2,20	0,64	1,74	3,00			1,78		5,00
08	1,62	2,60	1,06	2,06	3,80			2,20		6,10
09	2,10	3,65	1,60	3,00	4,55	1,34		2,90		7,90
10	2,36	4,00	1,74	3,30	5,16	1,56		3,10		8,36
11	3,40	5,95	2,20	4,60	6,50	2,20		4,15		12,20
12	3,60	6,40	2,50	4,95	8,00	2,45		4,90		12,20
13	3,90	6,80	2,65	5,30	9,35	2,55		5,10		13,30
14	5,80	9,20	4,35	7,10	10,80	3,55		7,20		17,80
15	6,10	9,70	4,60	7,50	12,90	3,90		7,80		18,90
16	7,00	12,00	4,90	8,05	15,30	5,55		10,60		25,00
17	8,55	13,40	5,00	10,30	18,30	5,55		11,10		27,00
18	9,40	17,70	7,10	10,30	19,10	7,20		14,40		38,00
19	9,85	18,40	7,45	10,00	26,10	7,20		14,40		38,00
20	12,80	19,20	9,70	14,60	27,20	7,20	5,55	14,40	5,55	44,40
21	13,30	21,60	10,10	16,00	36,30	10,00	6,55	23,00	6,55	61,10
22	14,70	28,20	10,40	21,90	43,90	13,30	5,55	25,70	5,55	61,10
24	17,90	30,30	14,20	23,60	38,80	14,40	10,00	30,00	10,00	66,70
26	24,00	43,70	13,10	36,10	41,90		11,10	35,70	11,10	105,60
28	25,60	46,30	13,30	38,30	58,60		12,20	40,00	12,20	116,70
30	37,00	57,10	23,40	44,70	81,30		21,10	50,00	21,10	130,90
32	38,90	69,70	30,00	50,20	102,90		22,20	61,10	22,20	172,20
34			31,70	55,30	120,40			63,30	23,30	227,00
36			47,40	64,00	125,70			111,10	30,00	316,70
38			50,00	69,10	155,40			116,70	33,30	311,10
40			70,60	118,30	187,80			150,00	41,40	411,10
44			63,30	172,60	260,10			200,00	62,20	622,20
48			73,70	185,30				222,20	60,00	622,20
52			113,20	267,00				311,10	94,40	833,30
56			123,00	283,90				344,40	100,00	850,00

Tabla4: Cantidades de grasa recomendadas en cm³ (lado derecho)

LUBRICACION

La condición de la película lubricante se determina mediante la *Relación de Viscosidad* κ (valor kappa), que se define como el cociente entre la ***Viscosidad de servicio*** v y la ***Viscosidad de referencia*** v_1 .

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



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

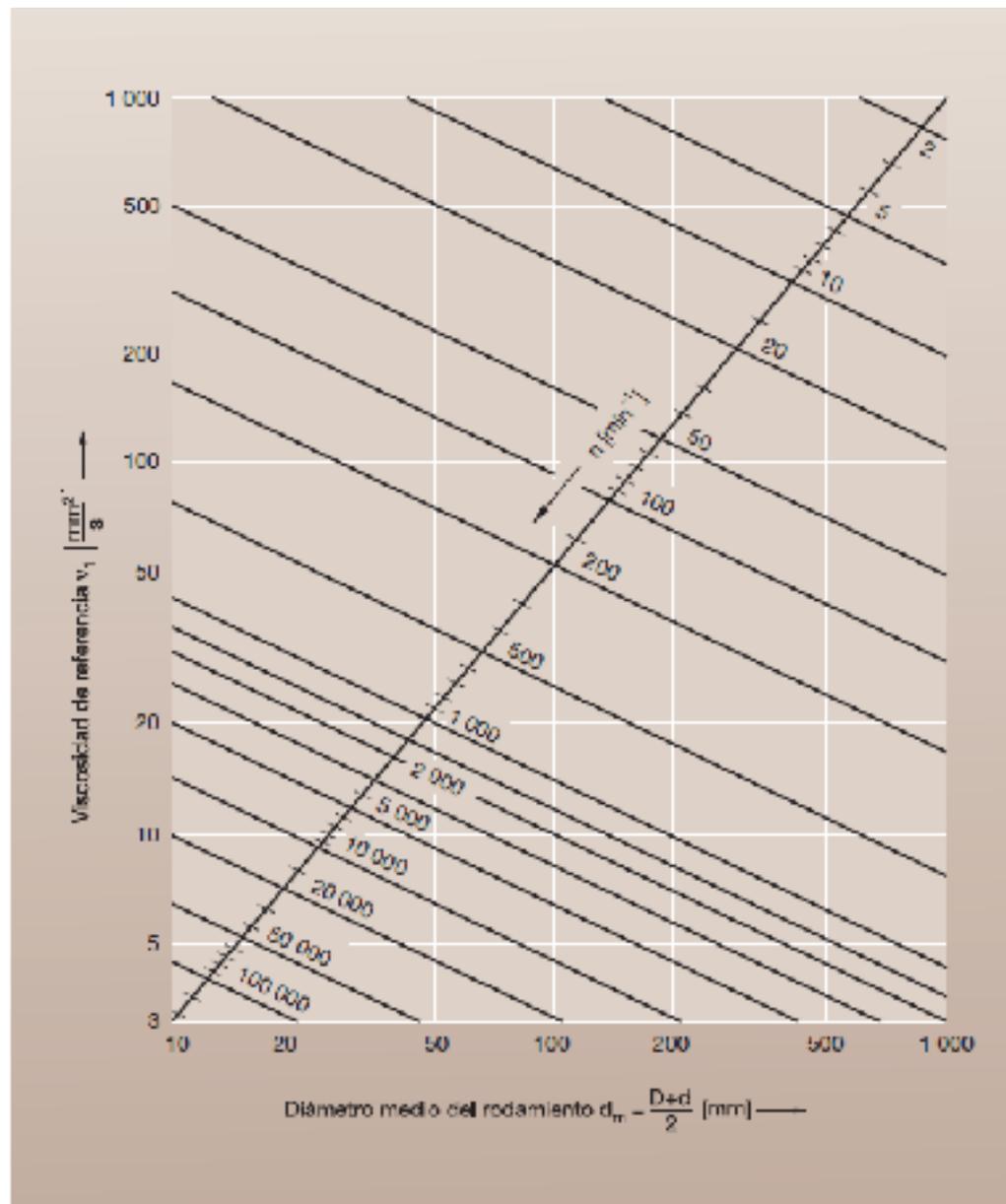
$\kappa = 2$ a 4 valores
 recomendados para
 lubricación óptima
 $\kappa > 2$ se formara una película
 completamente separada en
 las áreas de contacto

v Viscosidad de operación [mm²/s]

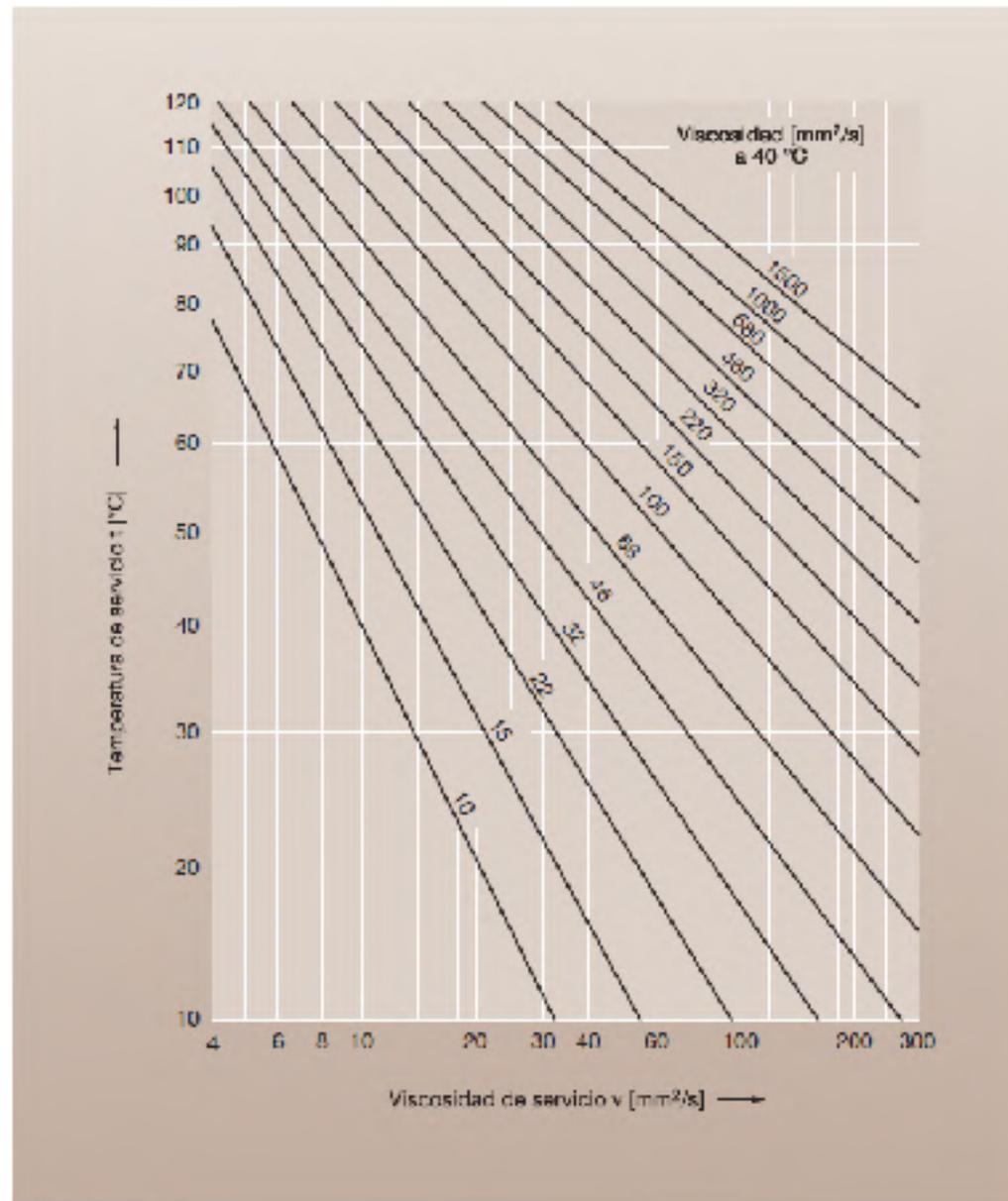
(dependiente de la temperatura de operación)

v_1 Viscosidad relativa [mm²/s]

(basada en la relación entre el diámetro medio d_m del rodamiento y la velocidad de giro n)



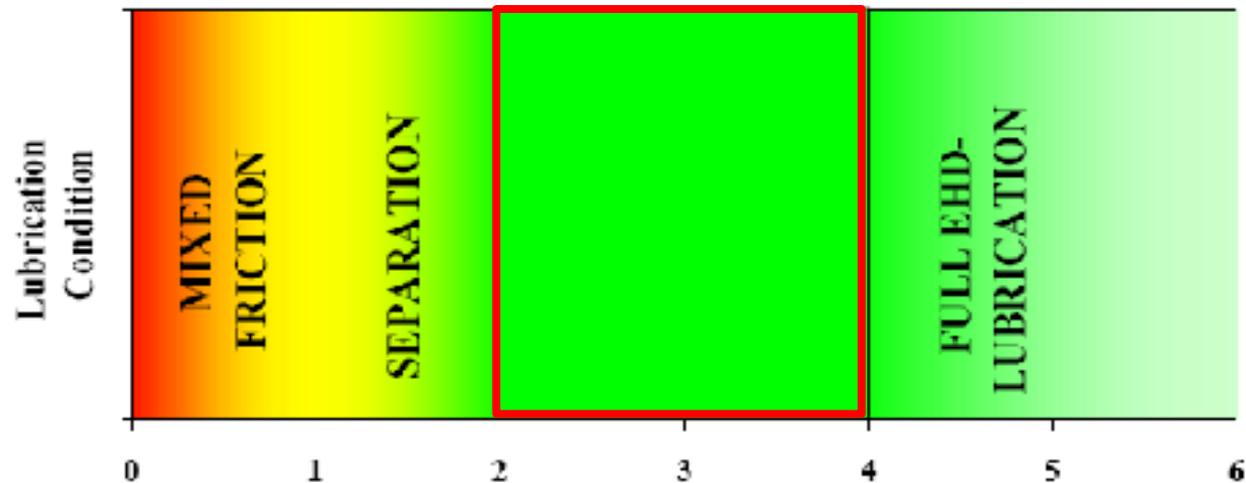
1: Viscosidad de referencia v_1



2: Diagrama V-T

LUBRICACION

Relación de Viscosidad Kappa



$$\kappa = \frac{\nu}{\nu_1}$$

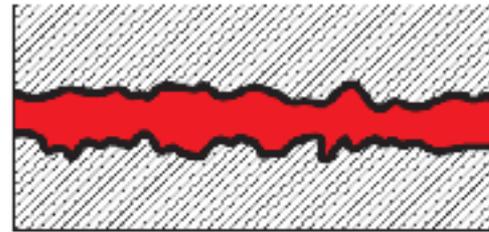
Valores recomendados de relación kappa κ de **2 a 4**

Tabla1c: Diagrama de Relación de Viscosidad Valor Kappa

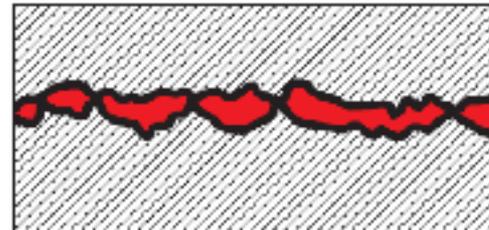
Nota: Mayores relaciones de viscosidades > 4 , no conducen necesariamente a mejorar la película lubricante y aumentan el rozamiento.

- **Lubricación total:** Las superficies de los cuerpos en movimiento relativo están separadas totalmente o casi totalmente por una película lubricante (figura 1a). Existe pues rozamiento líquido prácticamente puro. Este régimen de lubricación, denominado también lubricación líquida, es el que se debe pretender alcanzar.
- **Lubricación parcial:** Debido a un espesor insuficiente de la película lubricante aparecen contactos metálicos en algunas zonas (figura 1b). Se origina rozamiento mixto.
- **Lubricación límite:** Durante la lubricación parcial aparecen presiones y temperaturas muy elevadas en los puntos de contacto metálico. Si el lubricante contiene aditivos apropiados, se originan reacciones entre los aditivos y las superficies metálicas. Así se forman productos de reacción con capacidad lubricante que originan la formación de una capa límite (figura 1c).

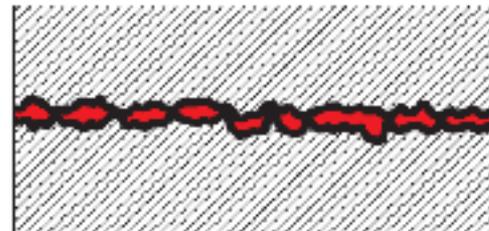
1: Diferentes regímenes de lubricación



a) **Lubricación total**
 Las superficies están separadas totalmente por una película portante de aceite



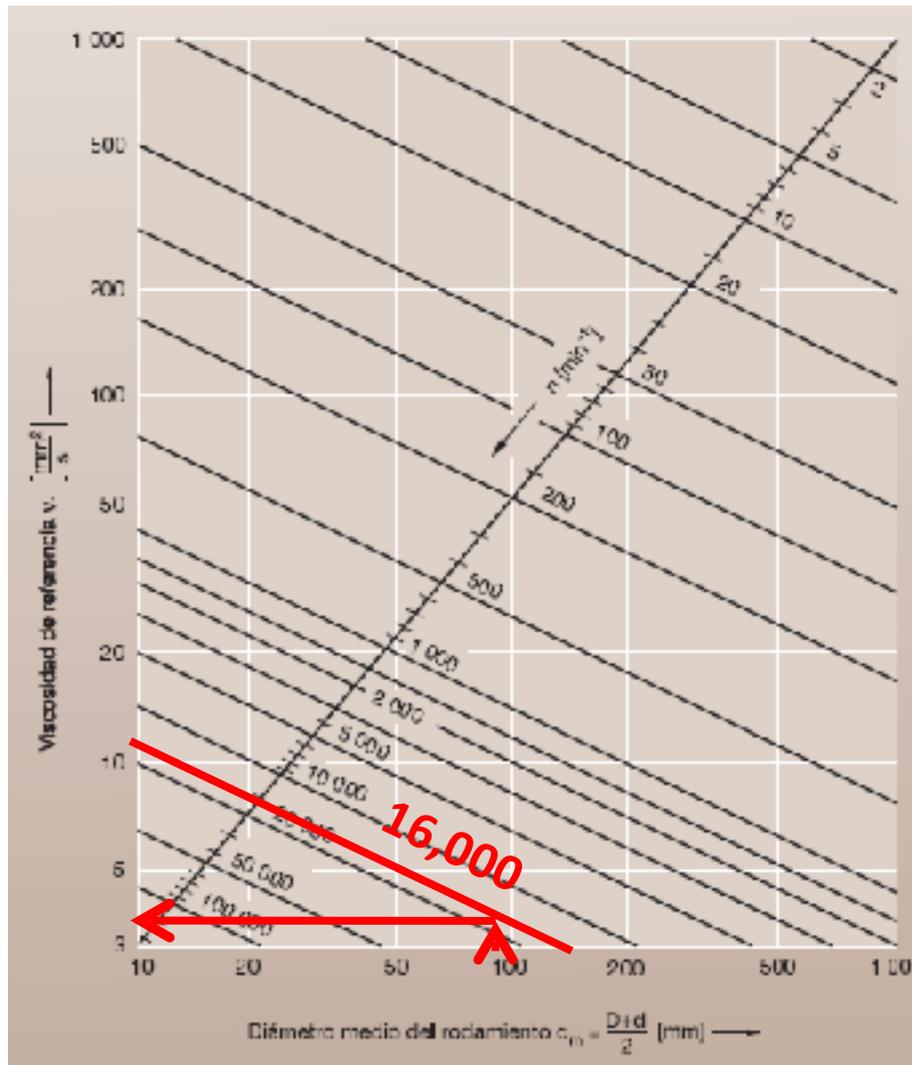
b) **Lubricación parcial**
 Tanto la película de aceite portante como la capa límite tienen importancia



c) **Lubricación límite**
 El comportamiento depende en primera línea de las cualidades de la capa límite

■ Capa límite ■ Película lubricante

LUBRICACION



Ejemplo:

HCB7014.C.T.P4S.UL

$d = 70 \text{ mm}$

$D = 110 \text{ mm}$

$B = 20 \text{ mm}$

$n = 16,000 \text{ rpm}$

$C_{Or} = 30,000 \text{ N}$

$C_{ur} = 2,230 \text{ N}$

$C_r = 50,000 \text{ N}$

Grasa Arcanol Speed 2,6

ISO-VG 22 @ 40° $22 \text{ mm}^2/\text{s}$

$$d_m = (D + d)/2$$

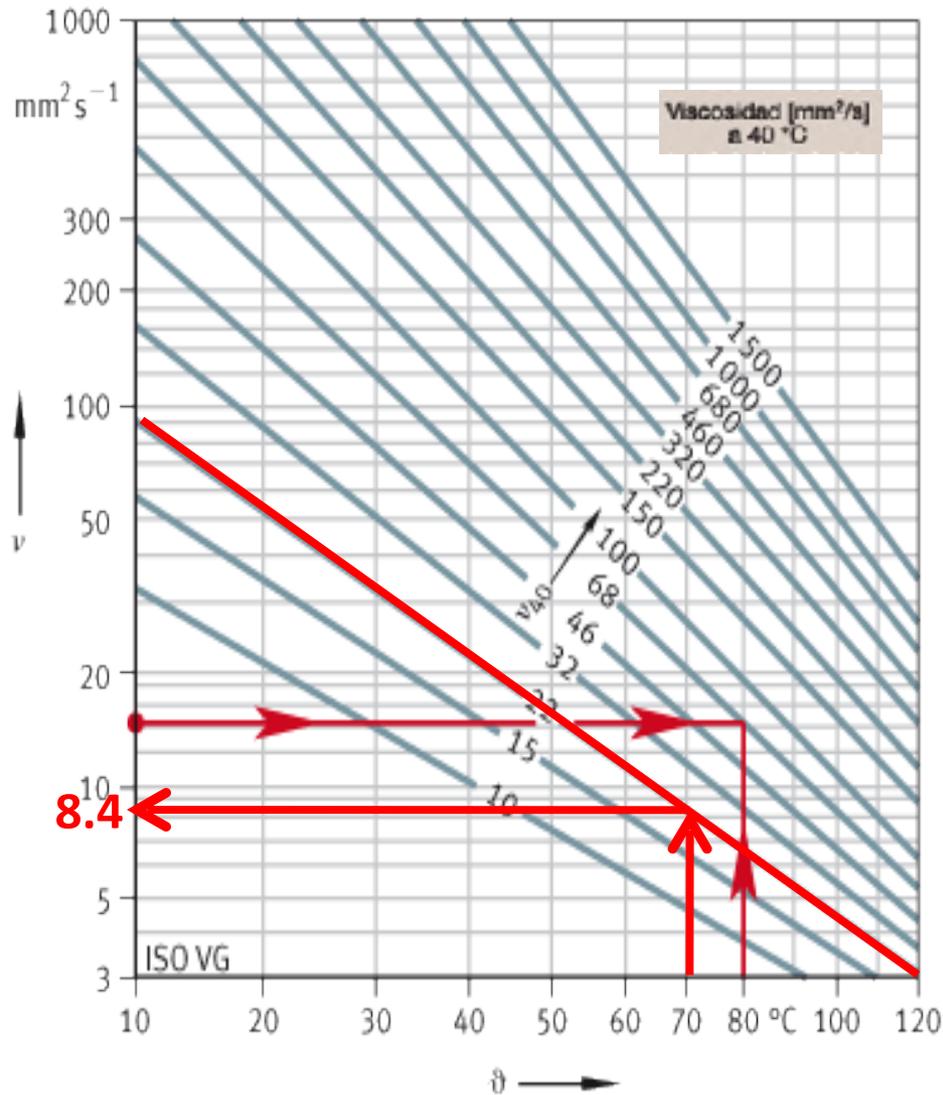
$$d_m = (110 + 70)/2$$

$$d_m = 90 \text{ mm}$$

$$v_1 = 3.8 \text{ mm}^2/\text{s}$$

Tabla1a: Viscosidad de referencia

LUBRICACION



Ejemplo:

HCB7014.C.T.P4S.UL
 $\delta = 70^\circ\text{C}$
 ISO-VG22 40° 22mm²/
 s
 $u = 8.4 \text{ mm}^2/\text{s}$

$$\kappa = v / v_1$$

$$\kappa = 8.4 / 3.8$$

$$\kappa = 2.21$$

Tabla1a: Viscosidad de referencia

LUBRICACION

Duración en servicio de la grasa

Depende:

- La cantidad de grasa
- El tipo de grasa
- El tipo de rodamiento
- La velocidad
- La temperatura
- Las condiciones de montaje, servicio y ambientales.

En la Tabla 5, se incluyen las grasas para aplicaciones a altas velocidades. También deben tomarse en cuenta las condiciones ambientales y operativas desfavorables como: la humedad, las vibraciones o caudales de aire atravesando los rodamientos.

Duración en servicio de la grasa

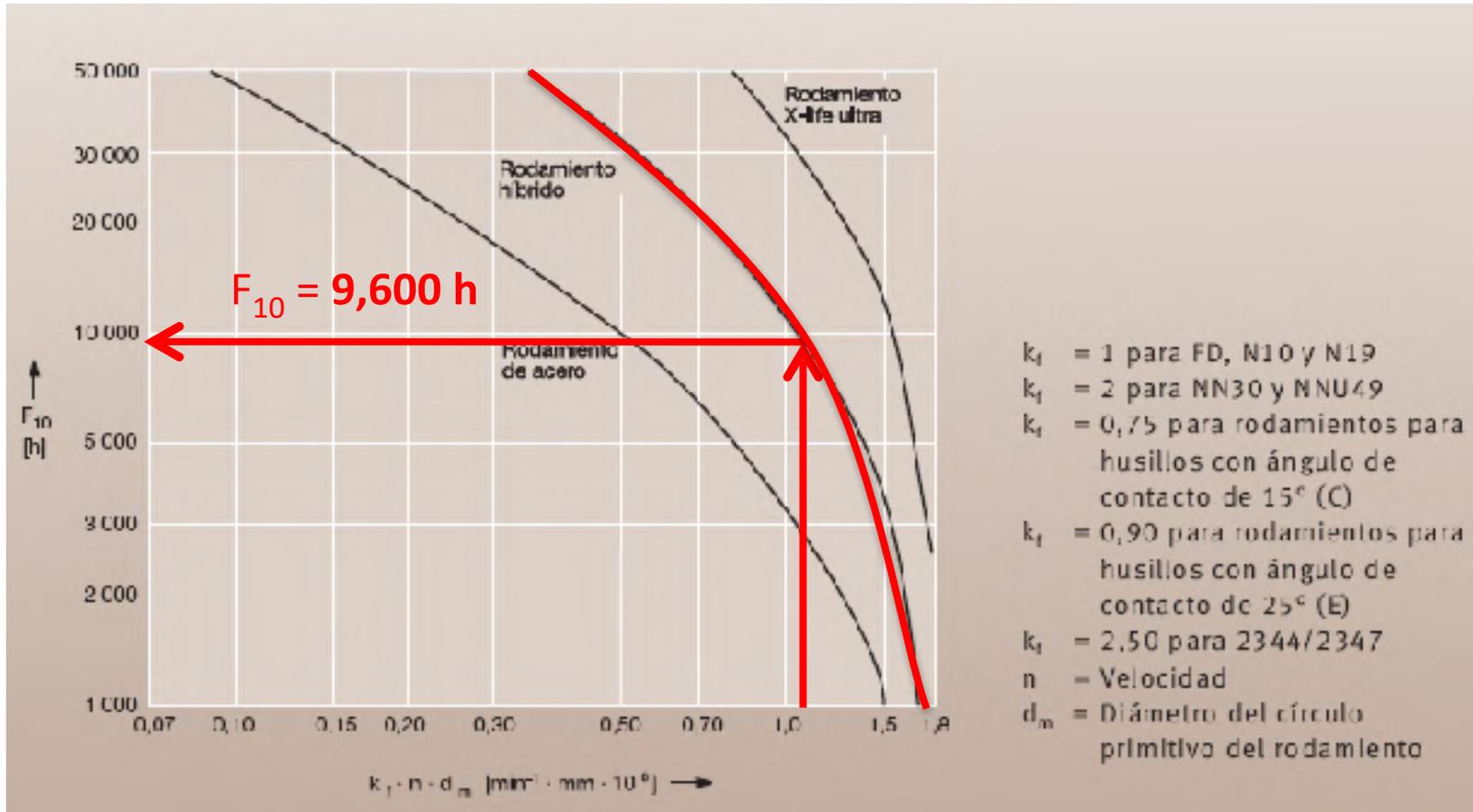


Tabla5: Duración de la grasa F_{10}

Ejemplo:

$$k_f \cdot n \cdot d_m = (0.75) \cdot (16,000) \cdot (90) = 1.08 \cdot 10^6$$

$$F_{10} = \mathbf{9,600h}$$
, Intervalo de Lubricación , $(9,600/24)/365 = 1.095$ años

$$F_{10} = (1.095 \times 12)/1 = \mathbf{13 \text{ meses}}$$

Reparto de la grasa

La puesta en marcha correcta, en el caso de rodamientos lubricados con grasa, determina en gran medida el rendimiento de un rodamiento o su duración en servicio. Se recomienda un servicio Start-Stop para el reparto de la grasa. Gracias a ello, se evitan altas temperaturas peligrosas en los puntos de contacto.

En la fase Stop, se produce una compensación de la temperatura de los componentes individuales del

rodamiento, de modo que no tienen lugar aumentos peligrosos de la precarga. Se recomienda controlar la evolución de la temperatura durante el reparto de la grasa y también durante el siguiente servicio continuo, debiendo hallarse el sensor térmico lo más cerca posible del anillo exterior.

Es imprescindible evitar un aumento progresivo de la temperatura, como sucede en el caso de una precarga excesiva. El reparto de la grasa concluye cuando se alcanza

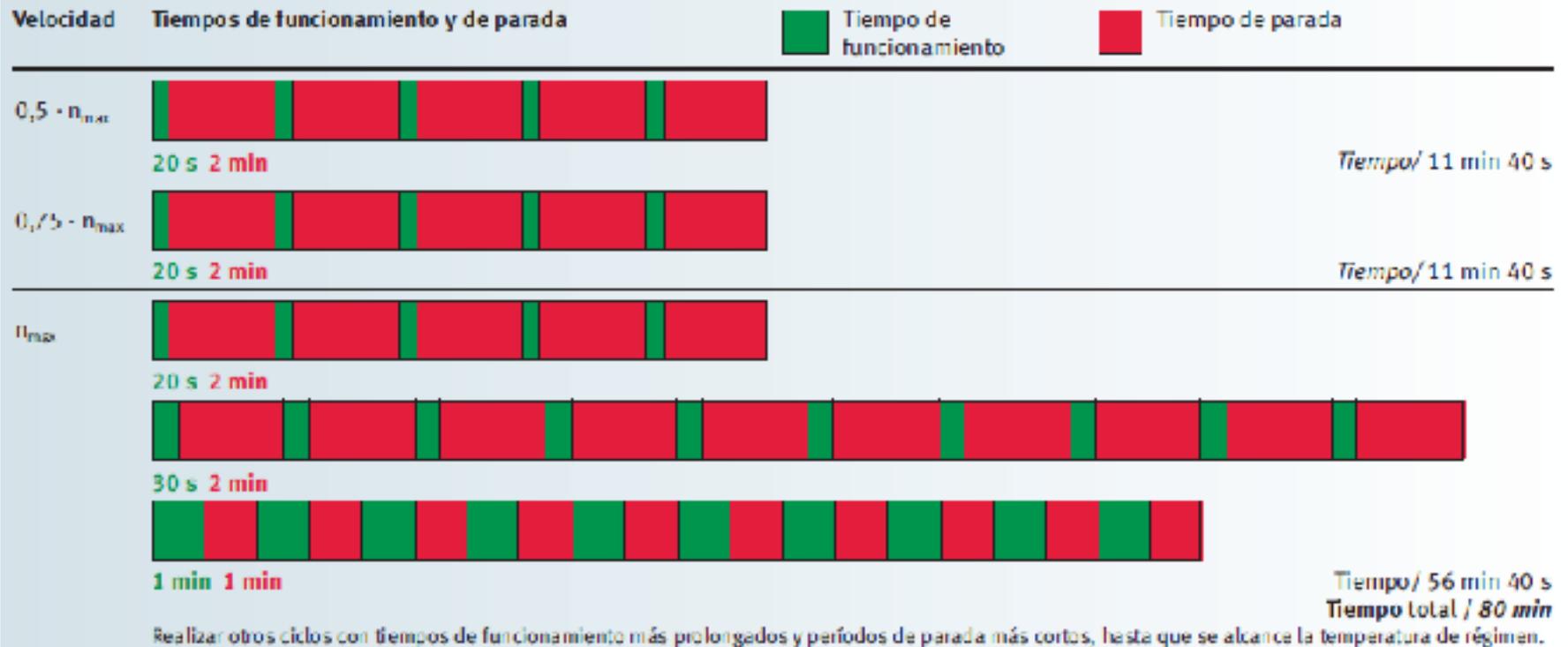
una temperatura estable en el rodamiento. A máximas velocidades, el proceso de rodadura debe llevarse a cabo inicialmente a velocidad media, antes de operar a la máxima velocidad. La figura 6 muestra las recomendaciones para el reparto de la grasa en rodamientos abiertos y obturados para husillos.

Las cantidades de grasa (tabla 4) y el reparto de la misma (figura 6) se han puesto a disposición, para su uso en el taller, en tarjetas DIN A5.

Distribución de la grasa

Recomendaciones para la distribución de la grasa en rodamientos abiertos y obturados para husillos

El proceso de puesta en marcha se compone de varios ciclos de funcionamiento Start-Stop con diferentes velocidades de giro y varios tiempos de servicio, siendo sumamente importantes los tiempos de parada después de cada funcionamiento. El número necesario de ciclos puede ser diferente en función del tamaño y de la cantidad de rodamientos, de la velocidad de giro máxima admisible y del entorno y partes adyacentes del rodamiento. La monitorización de la evolución de la temperatura es siempre recomendable.



Oil Lubrication

- **Minimal oil quantity lubrication**
 - Oil - mist - lubrication**
 - Oil - air - lubrication**
- **Oil - jet - lubrication**

Lubricación

Oil Minimum Quantity Lubrication



Oil Mist Lubrication

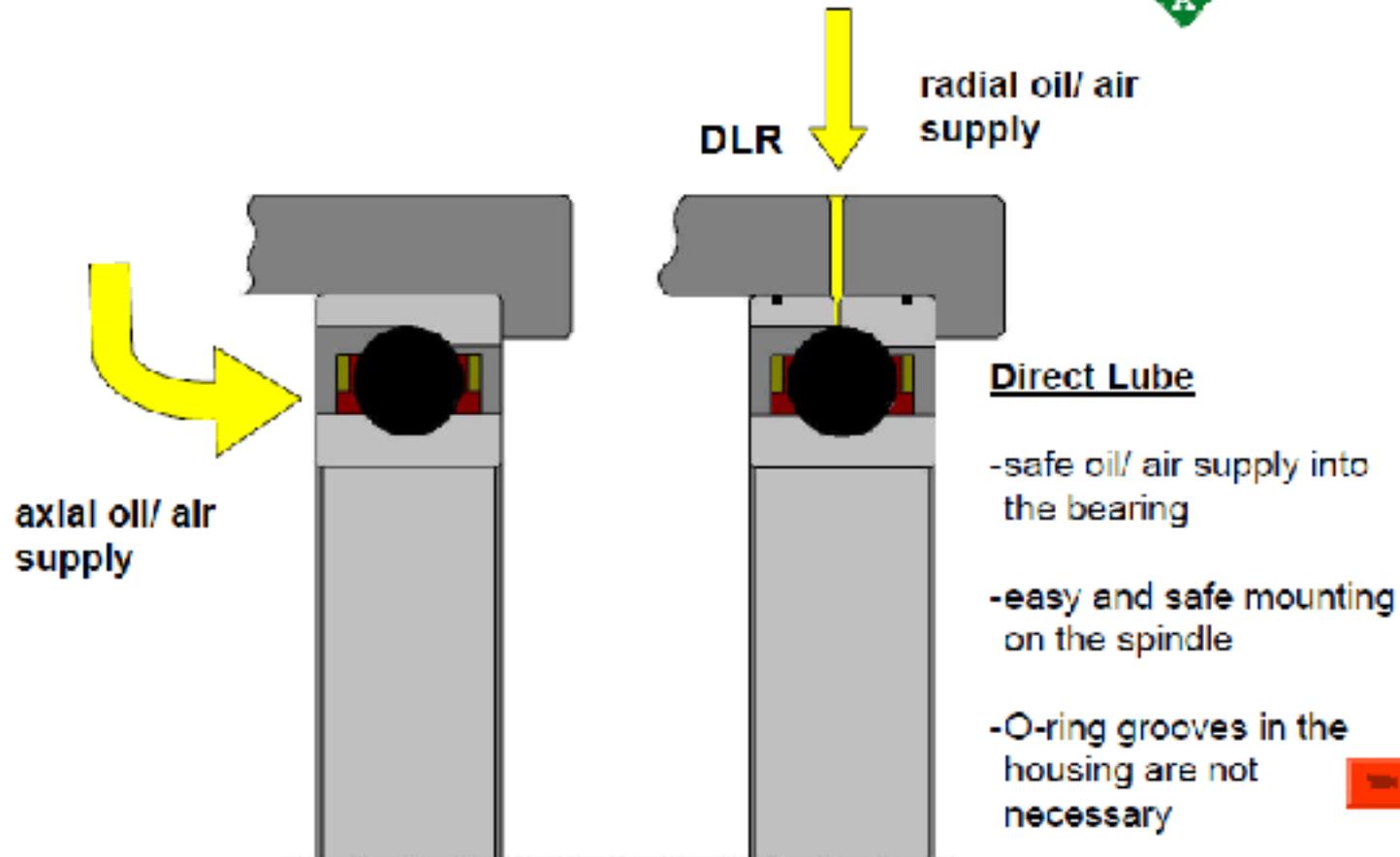
Oil Air Lubrication

Oil only



Lubricación

Spindle Bearings, Direct Lube



Lubricación

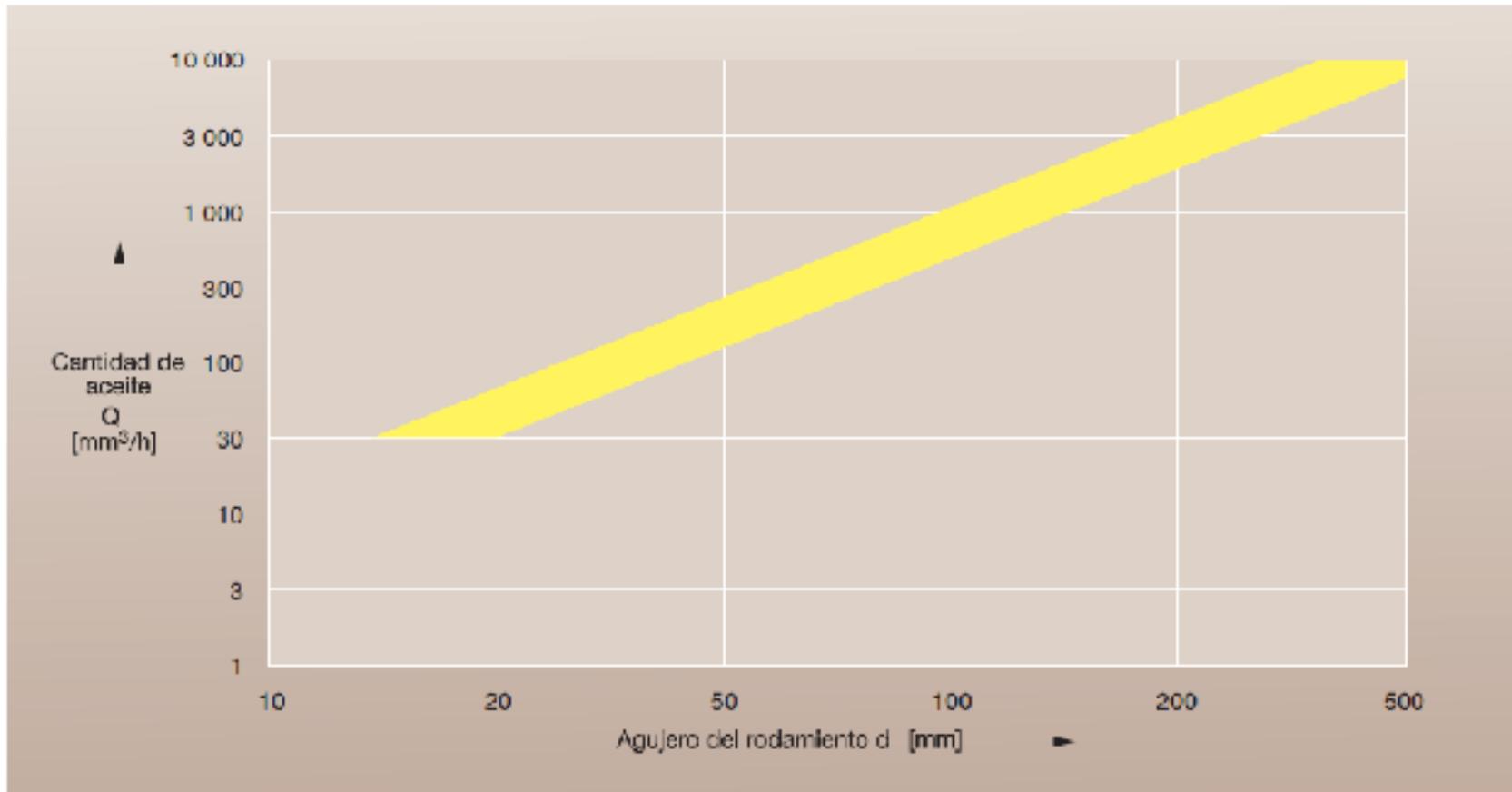
Lubricación con cantidades mínimas de aceite

Los rodamientos FAG para husillos requieren muy poco aceite. Basta con aplicar cantidades del orden de aprox. $100 \text{ mm}^3/\text{h}$ si se garantiza que están cubiertas todas las superficies de rodadura y deslizamiento. Dicha lubricación con cantidad mínima origina escasas pérdidas por rozamiento. La lubricación con cantidades mínimas de aceite se aplica cuando la velocidad del husillo es demasiado elevada para la lubricación con grasa. El procedimiento estándar es hoy en día la lubricación con aire-aceite. En las tablas de rodamientos se

especifican las velocidades que se alcanzan con una lubricación mínima.

Los aceites de denominación ISO VG 68 + EP han probado su eficacia, es decir: viscosidad nominal $68 \text{ mm}^2/\text{s}$ a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ y aditivos para extrema presión. El diagrama 7 ofrece los valores orientativos para la cantidad de aceite en el caso de la lubricación con aire-aceite. Las relaciones de flujo específicas en el rodamiento pueden influir claramente en la cantidad de aceite. Para los rodamientos híbridos, es válida la zona superior de las indicaciones para las cantidades de aceite y, para los rodamientos de acero, se utiliza la zona inferior de dichas indicaciones.

Lubricación



7: Cantidad de aceite para rodamientos FAG para husillos en la lubricación con aire-aceite

Lubricación Aire - Aceite

Recomendaciones para la lubricación con aire-aceite

Para los rodamientos para husillos B, HCB, XCB, HS, HC, XC y también para la ejecución Direct-Lube (DLR):

Clase de limpieza del aceite:	13/10 (ISO 4406)
Pureza del aire:	Tamaño máx. de partícula 0,01 μm
Sequedad del aire:	Punto de condensación a +2° C
Presión de aire en el conducto de alimentación:	Aprox. 3 bar
Diámetro de las boquillas:	0,5 hasta 1 mm
Número de boquillas:	Una boquilla extra para cada rodamiento y una boquilla por cada 150 mm de círculo primitivo
Diseño de las boquillas:	Alimentación paralela al eje de giro del husillo, entre el borde del anillo interior y el agujero de la jaula.
Diámetro primitivo de inyección:	Ver las tablas de los rodamientos (E_{tk}) (Para los rodamientos para husillos con jaula TX, los datos de las tablas pueden desviarse ligeramente).
Tubos de alimentación:	Diámetro interior 2 hasta 2,5 mm, tubo de plástico flexible y transparente, por lo que es visible el flujo de aceite por la pared interior del tubo,

Lubricación Aire - Aceite

Longitud:

Como mínimo 1 m, óptimo 4 m hasta aprox. 10 m. Enroscar con aprox. 5 vueltas el eje central en posición horizontal o inclinarlo hasta 30° a no más de aprox. 500 mm frente a la boquilla. Tras la interrupción de la lubricación, el aceite se acumula bajo las enroscaduras y vuelve a estar rápidamente disponible para una nueva puesta en marcha. Ello posibilita un breve tiempo de ejecución para el arranque del husillo.

Salidas de aceite:

A ambos lados de cada rodamiento, las acumulaciones de aceite pueden originar un calentamiento. Para los husillos verticales, hay que prever una salida debajo de cada rodamiento, para evitar que se lubriquen en exceso los rodamientos situados debajo. Orificios de salida, a ser posible $\approx \varnothing 5$ mm. Todos los orificios de salida de todos los rodamientos de un husillo deben unirse para compensar la presión.

Aparatos de lubricación con aire-aceite:

Cantidades normales de aceite por ciclo de inyección: 3, 5, 10, (30, 60, 100) mm³

Ciclos normales de inyección por hora:

De 6 hasta 10 veces

Es posible solicitar al fabricante otros datos referentes a los aparatos de lubricación con aire-aceite.

Lubricación Clases de Limpieza ISO 4406

(D-d)/2	Contacto puntual			Contacto lineal		
	Clase de limpieza de aceite necesaria según ISO 4406	Ratio de filtración necesario según ISO 4572	Tamaño máximo ¹⁾ de partículas	Clase de limpieza de aceite necesaria según ISO 4406	Ratio de filtración necesario según ISO 4572	Tamaño máximo de partículas
mm			µm			µm
hasta 12,5	11/8	$\beta_3 > 200$	10	12/9	$\beta_3 > 200$	20
más de 12,5 hasta 20"	12/9	$\beta_3 \geq 200$	15	13/10	$\beta_3 \geq 75$	25
más de 20 hasta 35"	13/10	$\beta_3 \geq 75$	25	14/11	$\beta_3 \geq 75$	40
más de 35	14/11	$\beta_3 > 75$	40	14/11	$\beta_3 > 75$	75

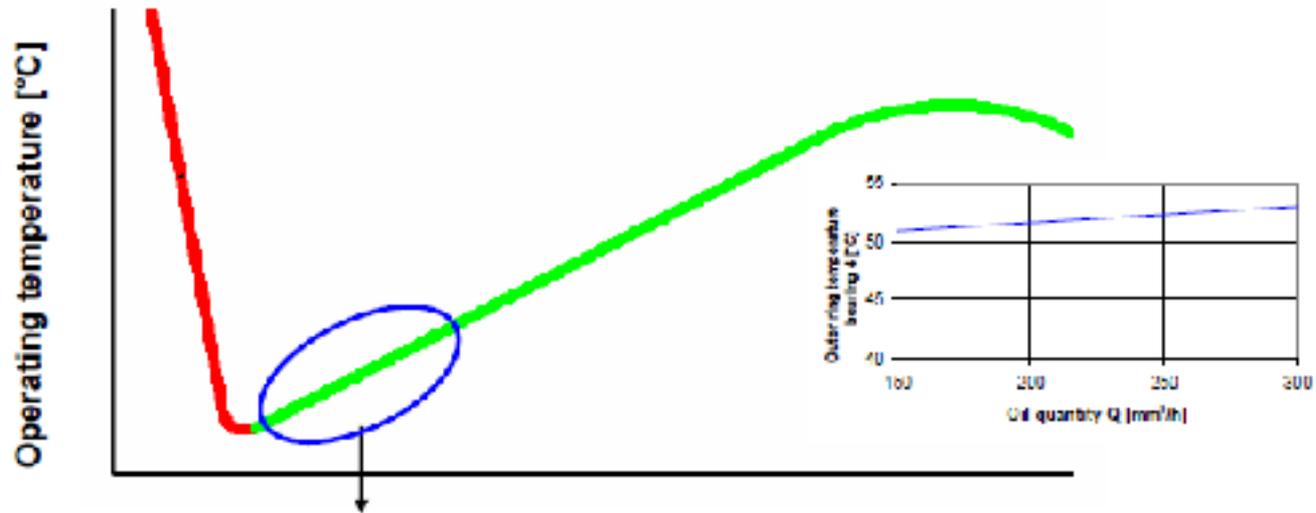
La clase de limpieza del aceite, como medida de la probabilidad de arrollar partículas que reducen la duración de vida del rodamiento, puede ser determinada mediante ensayos, por ejemplo, del fabricante del filtro o entidad oficial. Las clases de limpieza se alcanzan si el volumen total de aceite en circulación pasa por el filtro en pocos minutos. Antes de la puesta en marcha del rodamiento, es preciso efectuar un proceso de lavado para garantizar una buena limpieza. Un ratio de filtración $\beta_3 \geq 200$ supone, por ejemplo, que en el llamado ensayo Multi-Pass sólo una partícula de 200 partículas $> 3 \mu\text{m}$ pasa por el filtro. Filtros más gruesos, como $\beta_3 \geq 75$ no deben emplearse debido a las consecuencias negativas también para los grupos restantes en el circuito de aceite.

¹⁾ Los datos se aplican cuando en la zona de la pista de rodadura sometida a cargas elevadas no se encuentran partículas más grandes y con dureza $> 50 \text{ HRC}$.

9: Valores orientativos para las clases de limpieza de aceite recomendadas

Lubricación

Oil Quantity



Area of higher operating safety

Oil quantity

Oil Lubrication

Oil - Air - Lubrication



Admissible speed values: B-bearings: $n \times d_m = 1.8 \times 10^6$ mm/min.
HC-bearings: $n \times d_m = 2.2 \times 10^6$ mm/min.
XC-bearings: $n \times d_m = 3.1 \times 10^6$ mm/min.
(max. values for elastic preloaded arrangements)

Oil quantities: small, e.g. 150 mm³/h for a bearing 7014, see
FAG Publication AC 41130/4FA, page 148 ff.

Oil-viscosity: 68 –100 mm²/s at 40°C, Hydraulic-Oil HLP (chute – oils are not suitable!)

Oil with extreme pressure (EP-) additives

Dosage units: 10 mm³, 5 mm³, 3 mm³

Short intervals with low oil quantities (3 mm³) are preferable.

Oil – air – pressure at the nozzle: min. 3 bar

Nozzle diameter: 0,5 to 1 mm, per each bearing 1 or 2 nozzles or Direct Lube Bearing DLR

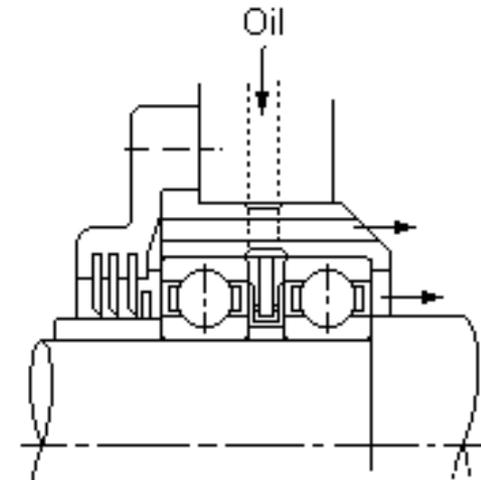
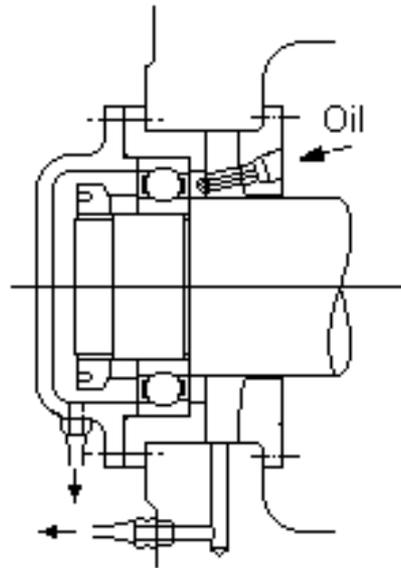
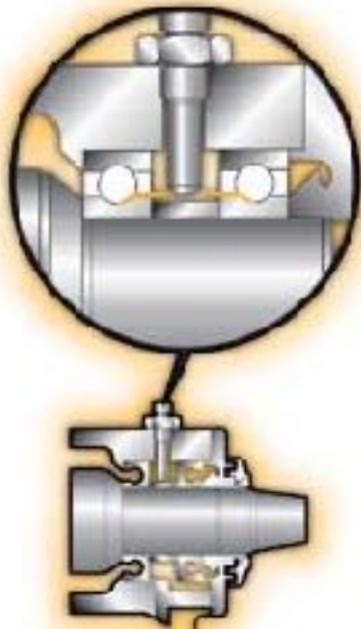
Oil – drains (outlets in the housing) are necessary on both sides of each bearing

The air must be dry and clean (particles max. 0.01 µm), air- filter

Oil-filter, oil cleanliness class 13/10 (ISO 4406)

Lubricación por inyección

La lubricación por inyección se utiliza cuando tenemos velocidades ultra-rápidas, normalmente en rodamientos de máquinas-herramienta. ($n. \text{ dm} > 1,000.000$). El aceite es inyectado a presión desde una o más boquillas directamente a las bolas del rodamiento o al área de rodadura. La mayor ventaja de este sistema, es que se puede conseguir una temperatura estable del rodamiento a grandes velocidades, gracias al efecto refrigerante de la fuerza a la que pasa el aceite a través del rodamiento. La selección de la viscosidad del aceite puede ser muy difícil en este método.



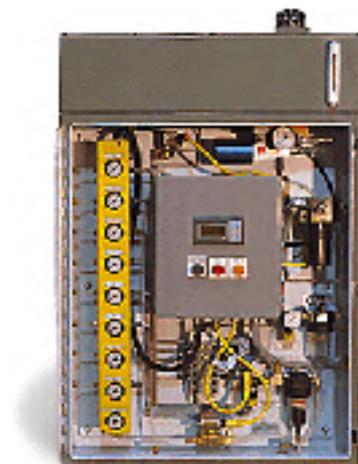
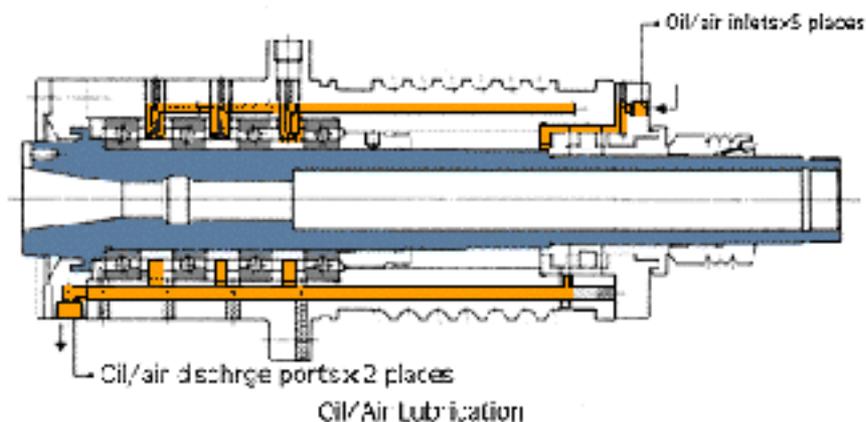
Lubricación Aceite / Aire

Lubricación Aceite / Aire es un método para proveer microcantidades de aceite al punto de fricción sin la indeseable formación de niebla.

Las mayores ventajas de lubricación por aceite/aire son:

Es adecuado para condiciones de ultra velocidad en las que mínimas cantidades de aceite son aplicadas al rodamiento en una operación en frío.

Como el aire comprimido otorga una presión positiva a los rodamientos, se impide la entrada de partículas de polvo del fluido de corte y otros contaminantes por medio de un “efecto cortina de aire”. Por estas razones, la lubricación por aceite/aire se utiliza para la lubricación de rodamientos en husillos de máquina herramienta y otros equipos de alta velocidad. (factor de velocidad hasta aprox. 3 millones) así como en guías de rodillos en producción de acero. (plantas de fundición en continuo, etc)



Oil Lubrication

Oil - Air - Lubrication

Oil types:

ARAL Degol BG68

Mobil SHC 626

ESSO Spartan EP68

Optimol Optigear BM68

Tribol 1100 / 68

Oil Lubrication

Oil - Jet - Lubrication

Achievable speed values: up to $n \times dm = 4 \times 10^6$ mm/min

Oil-quantity: several liters per minute, calculation with
frictional torque and power loss.

Oil types: IILP or CLP

Oil-viscosity: 5 or 10 mm²/s at 40°C

One or two nozzles at each bearing

Large drains on both sides of each bearing.

(see FAG-Publication WT.81115/4FA, pages 45,46)

Lubricación

Recommendations for Oil-Air Lubrication

for B, BCB, XCB, BS, BC, XC spindle bearings, also in Disc-Lube design (DB)

Oil cleanliness class	13/10 (ISO 4405)
Air cleanliness	Particle size 9.03 µm max.
Air dryness	1000 parts at + 2 °C.
Air inlet tube pressure	approx. 5 bars.
Nozzle Ø	0.5 to 1 mm.
Number of nozzles	Extra nozzle for each bearing, one nozzle per every 150 mm of pitch circle circumference.
Nozzle design	Inlets must be parallel to spindle rotational axis between inner ring lip and cage face.
Injection pitch circle Ø inlet tube	See Bearing Tables (2) of Desam [®] . inner diameter \varnothing in \varnothing 3 mm. Deviate and transparent tubing of synthetic material that the oil does not attack and the wall is visible.
Length	at least 1 m, optimum 4 m, up to approx. 10 m. Spirals with some fine windings, cone axis horizontal or up to 30° inclined, no closer than approx. 300 mm in front of the nozzle. When lubrication is interrupted, the oil will collect in the windings at the bottom and soon be available again when operation is resumed. Thus a short lead line becomes available for spindle starts.
Oil outlets	at both ends of each bearing, oil collection can cause high temperature running. For vertical spindles outlet ducts should be provided underneath each bearing on the bearings below at least in oil-pit. Outlet ducts if possible a Ø 5 mm. Connect all outlet ducts from all bearings of one spindle for pressure hot zone reasons.

Oil-Air Lubricating Devices

Normal oil quantities per injection cycle	5, 3, 10, 30, 60, 100 mm ³
Normal injection cycles per hour	4 to 10

Further data can be obtained from manufacturers of oil-air lubricating devices.



viscosity:

68 cSt

Oil:

Mobil SHC 626

catalogue page 141

Distribución de Cargas proporción de carga

Disposición	Carga en el rodamiento más cargado	
	F_a	F_r
	100 %	60 %
	100 %	60 %
	50 %	60 %
	50 %	60 %
	33 %	60 %
	33 %	60 %

Las cargas radiales y axiales, que han sido calculadas a partir de las cargas exteriores y que actúan sobre el rodamiento en cuestión, se deben disponer con la distancia adecuada entre los rodamientos.

8: Distribución de cargas en cada posición de rodamiento para varios rodamientos

Monitorización de los rodamientos

Como parámetros para la monitorización de un rodamiento se contemplan todos los factores que reaccionan de alguna forma a alteraciones o cambios en el rodamiento o en las condiciones de funcionamiento. Pueden ser fuerzas, pero también vibraciones, temperaturas, la potencia de accionamiento, etc. En la monitorización de rodamientos se debe tener en cuenta que los valores absolutos de un parámetro no tienen, en general, un gran peso Informativo. Es mucho más importante monitorizar los cambios que vayan surgiendo. Por ejemplo, un valor absoluto de temperatura de 40°C no es perjudicial para

un rodamiento. En cambio, si la temperatura asciende en poco tiempo de un valor permanente de 35°C hasta 40°C, puede ser una primera señal de un daño incipiente en el rodamiento. Para seleccionar un método de monitorización hay que tener en cuenta que la evolución continua de un daño sólo se puede esperar a largo plazo, a velocidades bajas o medias. En estos casos, tiene sentido realizar una monitorización periódica.

En el área de las altas o muy bajas velocidades de rotación, hay que considerar fallos espontáneos a la hora de analizar los riesgos, de forma que se debería trabajar única y exclusivamente con una monitorización continua para limitar los daños.

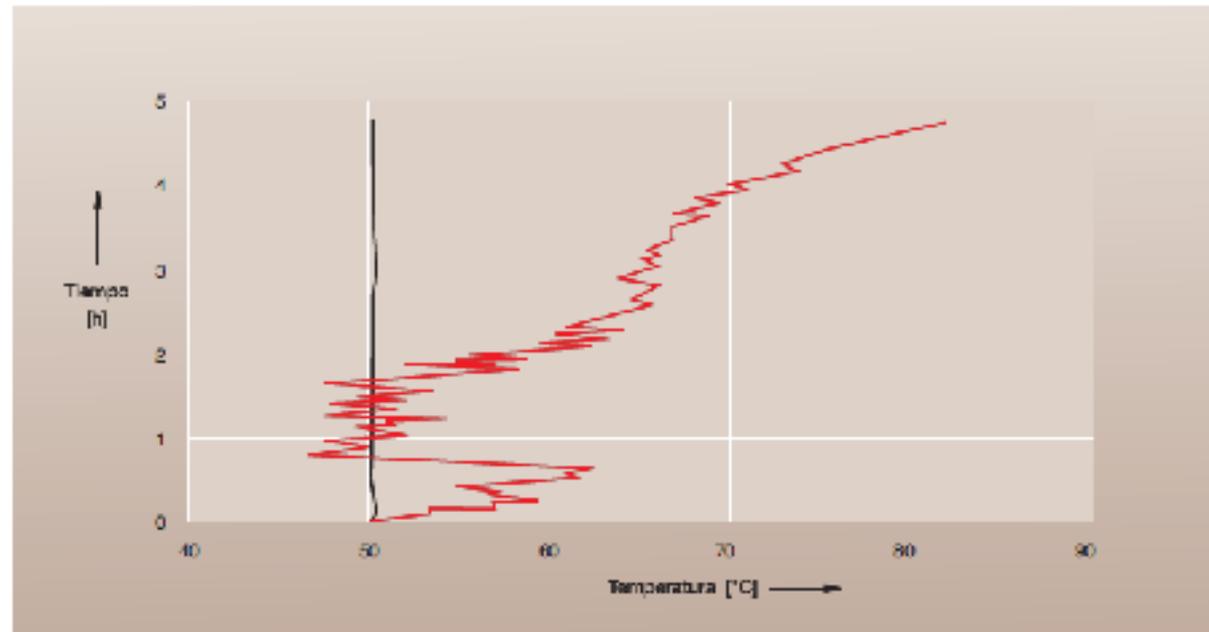
La monitorización única se utiliza exclusivamente para garantizar la calidad de los husillos recién fabricados o reparados. En este caso, se utiliza, por ejemplo, la medición del tiempo en funcionamiento hasta su parada, o la medición de las frecuencias propias o naturales. Con este procedimiento se pueden detectar fallos en la precarga de forma rápida y segura. La medición de la temperatura, de la velocidad de vibración y de la aceleración de vibración son procedimientos habituales para el aseguramiento de la calidad. Estas mediciones deben ser utilizadas, así como también la medición del tiempo de funcionamiento hasta su parada, como procedimientos comparativos.

Monitorización de la temperatura

En muchos casos, la temperatura tiene especial importancia en el comportamiento en servicio de los rodamientos. En rodamientos lubricados con grasa, se puede detectar un empeoramiento o un posible fallo, generalmente de forma prematura. Para variaciones en la precarga o disfunciones de rodamientos libres, existen patrones relativamente estables de evoluciones típicas de la temperatura. Normalmente, se mide la temperatura en el anillo estacionario que, por lo general, suele ser el anillo exterior. El fundamento para la valoración es la variación de temperatura durante el tiempo. Para una medición fiable de la temperatura hay que tener en cuenta las siguientes normas:

- Medir lo más cerca posible del rodamiento
- Medir de forma lo más continua posible
- Evitar la deformación del rodamiento a causa de los sensores.

La evolución normal de la temperatura de un rodamiento es estable. Si la duración en servicio de la grasa está llegando a su fin, la temperatura se ve alterada ya que se incrementa y luego vuelve a bajar. Cuando se perciba una transición a un comportamiento progresivo, debe realizarse una intervención.



17: Evolución de la temperatura en el rodamiento
 negro = normal
 rojo = fin de la duración en servicio de la grasa

Temperaturas de funcionamiento

Los anillos de los rodamientos de superprecisión son dimensionalmente estables hasta 150 °C. Hasta este valor, la influencia de la temperatura en las características del material no debe ser tenida en cuenta. Por otra parte, es preciso tener en cuenta los límites de temperatura de la jaula, de la obturación del rodamiento y del lubricante (ver la tabla 10). Para aplicaciones de rodamientos de superprecisión a mayores temperaturas, se ruega ponerse en contacto con el servicio de ingeniería del Grupo Schaeffler Industrial.

Componente	Límites de temperatura
Jaula	100 °C
Obturaciones	100 °C
Lubricante	ver capítulo Lubricación
Anillos del rodamiento	150 °C

10: Límites de temperatura de los componentes del rodamiento

Tolerancias de Mecanizado de Partes Adyacentes

TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES



El rendimiento de los rodamientos de super-precisión aumenta con respecto a su aptitud para altas velocidades y precisión de giro. Sin embargo, este aumento de rendimiento, sólo puede aprovecharse al máximo cuando la *precisión de las partes adyacentes coincide con la precisión del rodamiento.*

Las tolerancias de *medida, forma y posición* indicadas en las tablas siguientes referidas a las partes próximas al rodamiento, han probado su eficacia en aplicaciones de los rodamientos de super-precisión. Los datos son útiles para:

- Seleccionar mejor y de forma más rápida el ajuste.
- Garantizar una intercambiabilidad y un funcionamiento seguros.

Los valores de las rugosidades medias **Ra** en los asientos de los rodamientos no deben superarse para que los ajustes recomendados permanezcan dentro de una variación limitada. Deben tenerse en cuenta las normas generalmente vigentes en la técnica de los rodamientos que contemplen:

- la dirección y el efecto de la carga
- la rotación de los aros interior o exterior,
- la modificación del ajuste a causa de la temperatura y de la fuerza centrífuga.

TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES



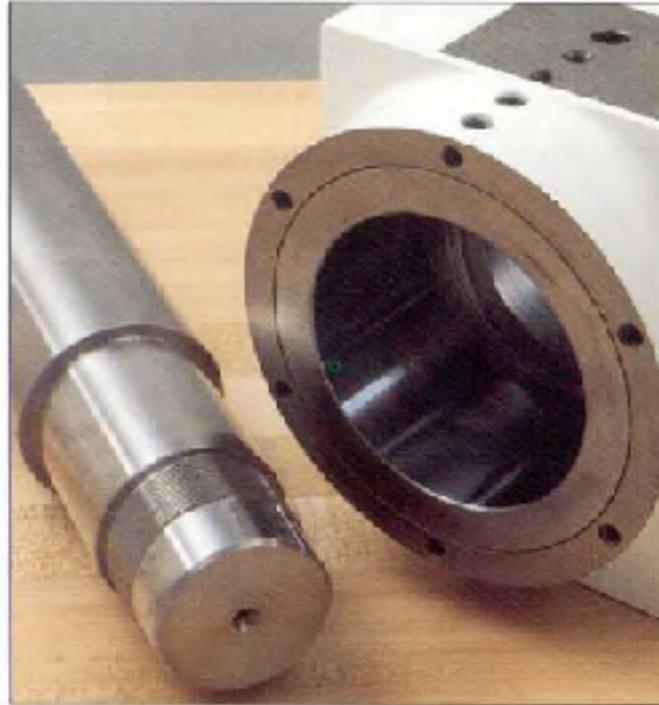
Preparativos

Verificación de partes adyacentes.....

Todas las partes adyacentes deben ser cuidadosamente verificadas en su *exactitud dimensional y de forma antes del montaje*

El no observar las *tolerancias de flecha y de alojamiento, la exactitud en la redondez, la exactitud en planitud de rebordes de apoyo* etc., implicarán un desempeño del rodamiento comprometido y pueden llevar a **una falla prematura del rodamiento.**

TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES



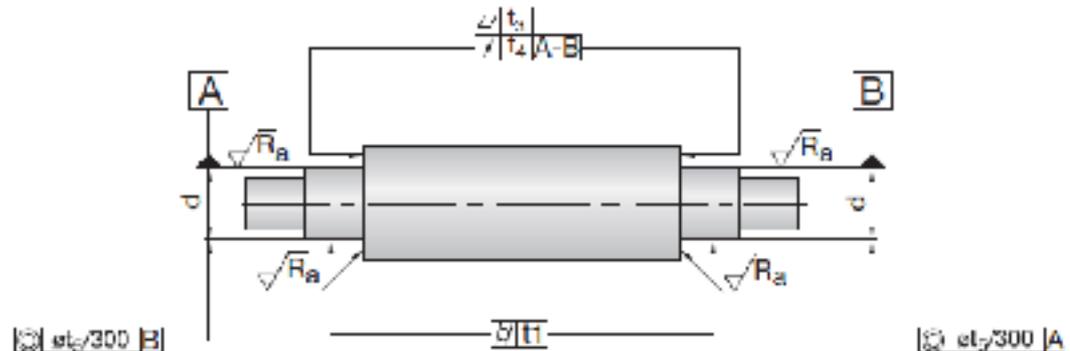
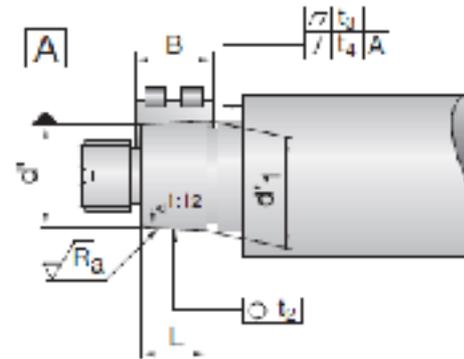
It is critical that shafts and housings be clean, burr-free and machined to exact tolerances.

TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES

Eje

Símbolos de tolerancia

- d = Medida nominal del diámetro del eje o del agujero del rodamiento
- d' = Diámetro menor del cono (= $d +$ límite inferior según tabla)
- d_1' = Diámetro mayor del cono
 $d_2' = d + 1/12 \cdot L$
- L = Longitud del cono
 $L = 0,95 \cdot B$
(Ancho del rodamiento)
- t_1 = Forma cilíndrica (DIN ISO 1101)
- t_2 = Redondez (DIN ISO 1101)
- t_3 = Planitud (DIN ISO 1101)
- t_4 = Salto axial (DIN ISO 1101)
- t_5 = Coaxialidad (DIN ISO 1101)
- AT_D = Tolerancia del ángulo de conicidad (DIN 7178)
- R_z = Valor de la rugosidad media (DIN 4768)

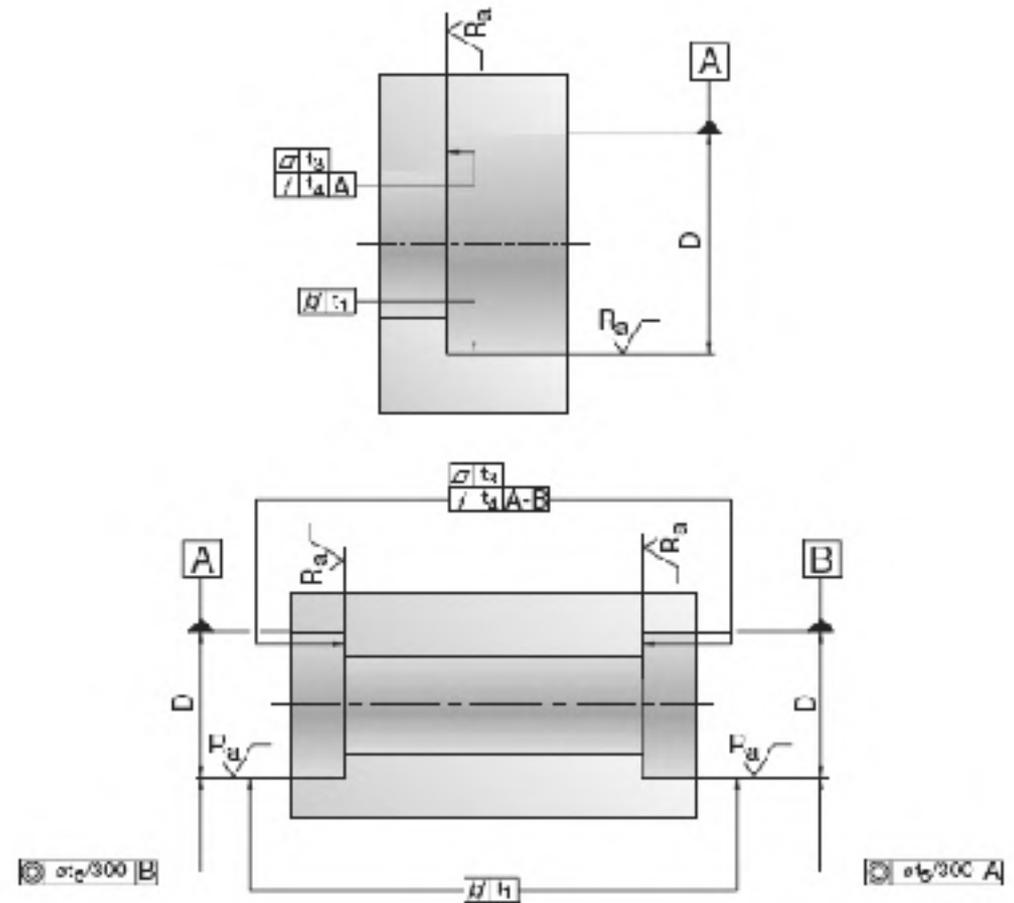


TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES

Alojamiento

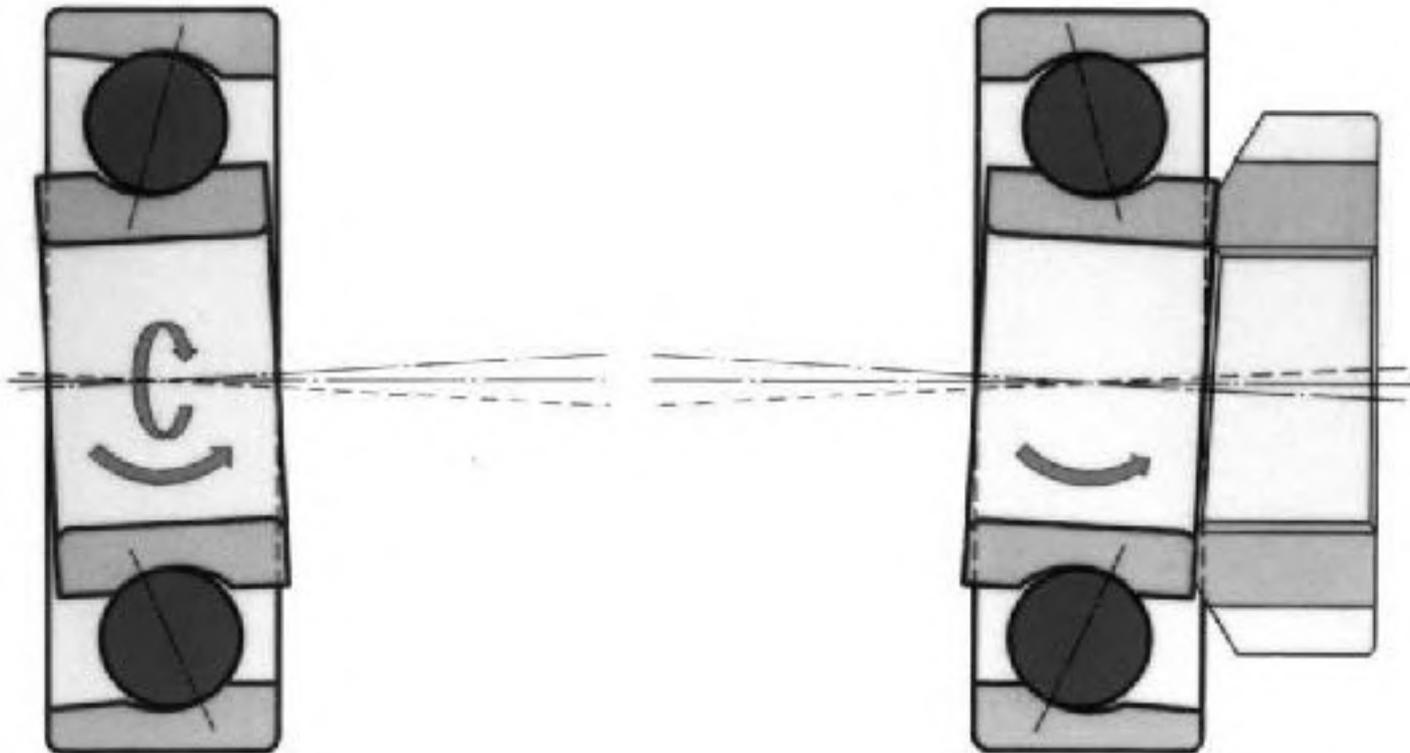
Símbolos de tolerancia

- D = Agujero nominal del alojamiento
- t_2 \varnothing = Forma cilíndrica (DIN ISO 1101)
- t_3 \square = Planitud (DIN ISO 1101)
- t_4 \nearrow = Salto axial (DIN ISO 1101)
- t_5 \odot = Coaxialidad (DIN ISO 1101)
- R_c = Valor medio de rugosidad (DIN 4768)



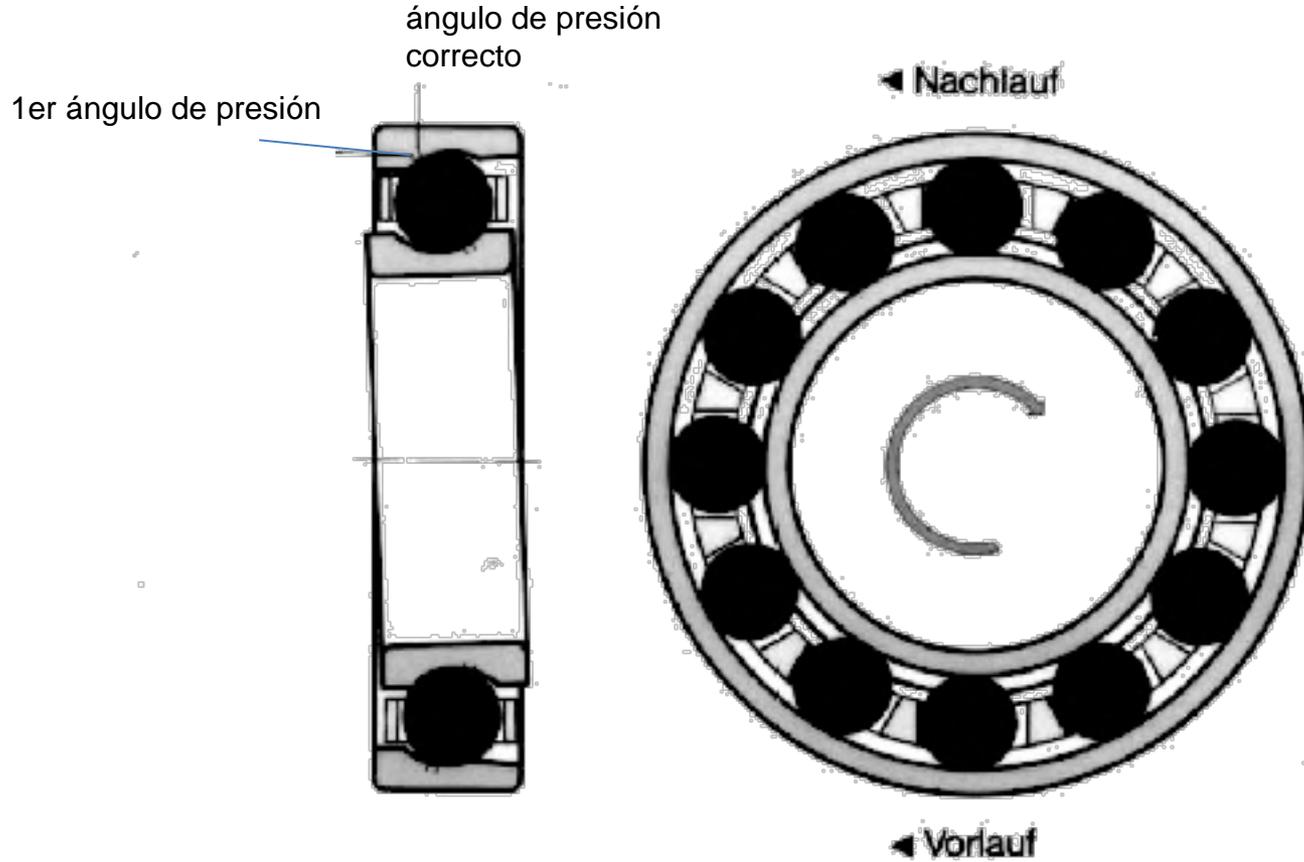
TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES

Variación Axial de Hombros



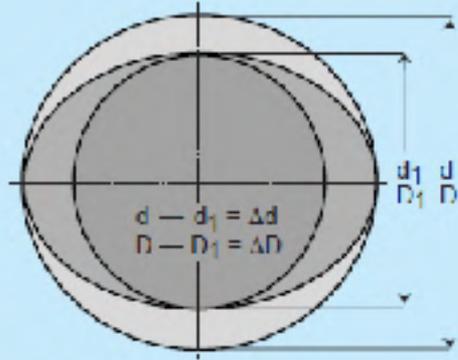
TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES

Variación Axial de Hombros

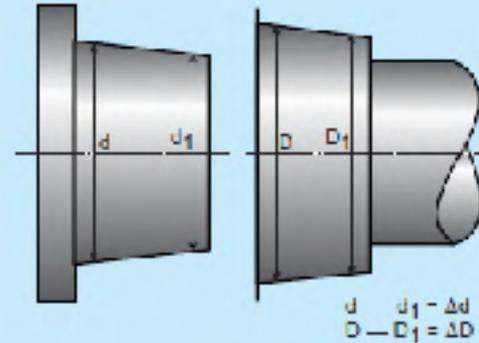


TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES

Fig. 6

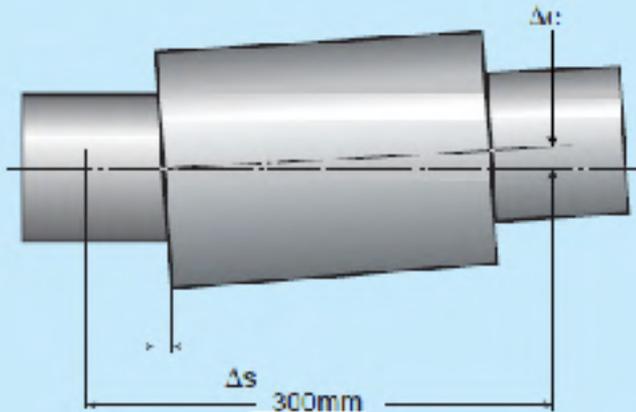


Out of round of shaft or housing

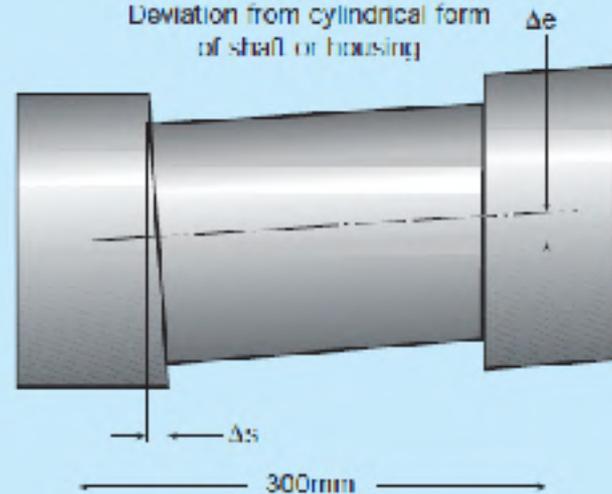


Deviation from cylindrical form of shaft or housing

Fig. 7



Misalignment of bearing seatings

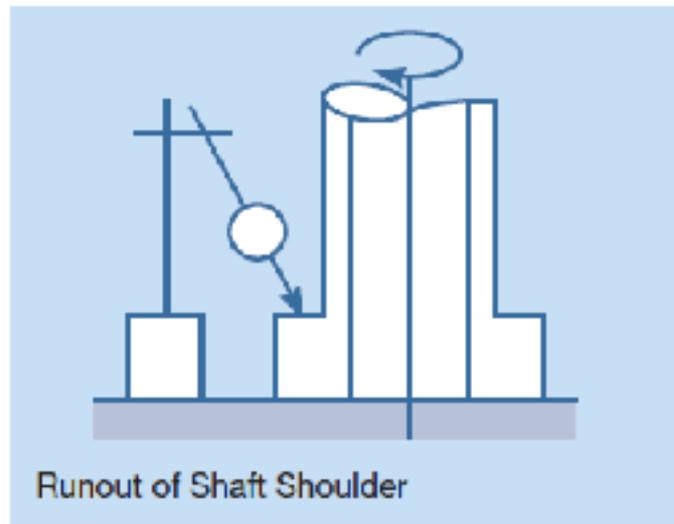


Run-out of abutment faces

Runouts Checks

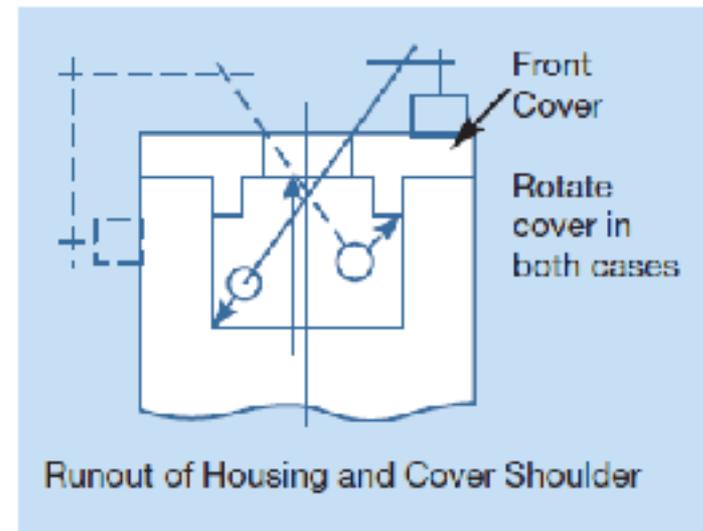
Shaft radial and axial runouts should be checked to ensure that the bearing has the best possible seating accuracy.

Ideally the shaft should be measured between accurate centres, however, if this is not possible use a surface plate as shown in figure below.



Typical target values will depend upon the application, in general a target of 3 to 5 microns would be desirable.

Obtaining runouts of the housing is a little more difficult and although not as important as the shaft can be useful in eliminating future errors. Figure below shows a typical set up for obtaining the runout for the housing and cover shoulders.



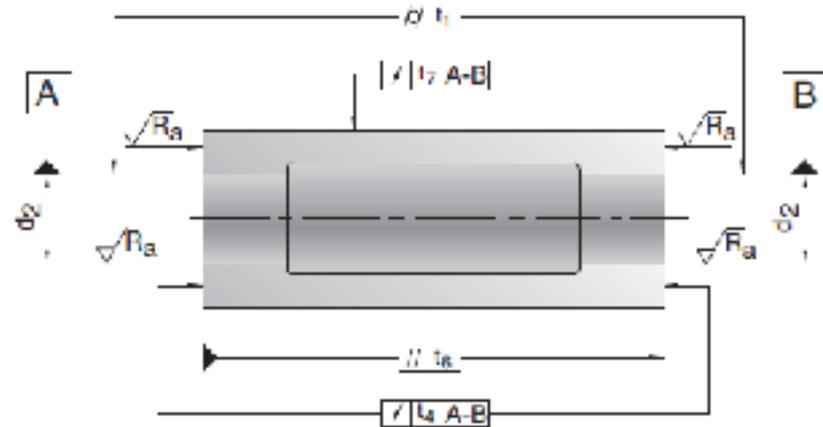
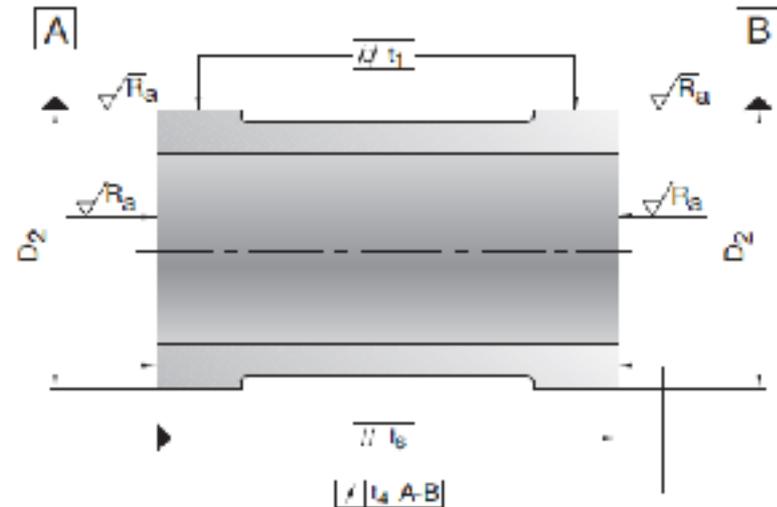
Typical target values will depend upon the application, in general a target of 3 to 5 microns would be desirable.

TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES

Manguitos distanciadores

Símbolos de tolerancia

- d_2 = Medida nominal del agujero del manguito distanciador
- D_2 = Medida nominal del diámetro exterior del manguito distanciador
- $t_2 \text{ } \phi$ = Forma cilíndrica (DIN ISO 1101)
- $t_4 \text{ } \nearrow$ = Salto axial (DIN ISO 1101)
- $t_6 \text{ } //$ = Paralelismo (DIN ISO 1101)
- $t_7 \text{ } \nearrow$ = Concentricidad (DIN ISO 1101)
- R_1 = Valor de la rugosidad media (DIN 4768)



Distancias a los cantos y chaflanes

Medidas límite para las distancias a los cantos

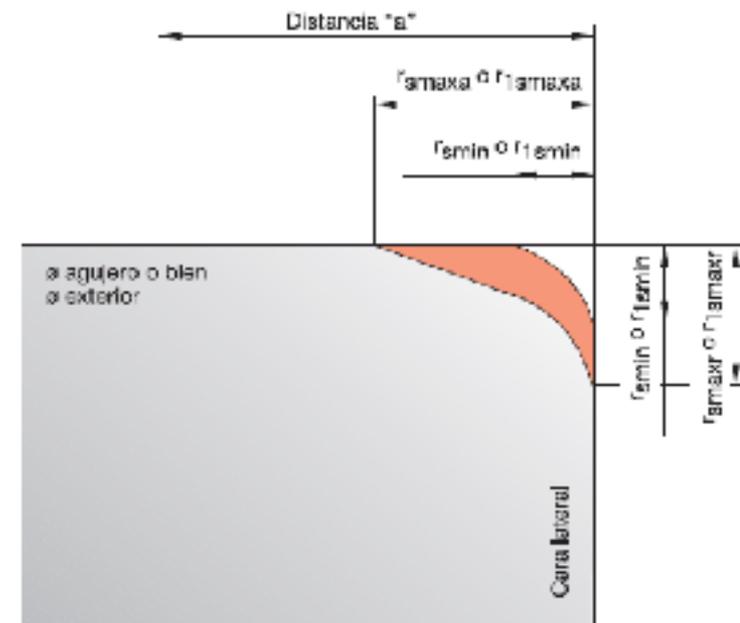
Símbolos:

$r_{smín}$ o $r_{ismín}$ Símbolos para las distancias a los cantos y chaflanes mínimos en sentidos radial y axial

$r_{smáx}$ o $r_{ismáx}$ Distancias a los cantos máximas en sentido radial

$r_{smáx}$ o $r_{ismáx}$ Distancias a los cantos máximas en sentido axial

Distancia de medición "a" Empezar por el área de prueba de las tolerancias del diámetro del agujero o del diámetro exterior



TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES



Resumen

El salto axial del hombro ó reborde, tiene una influencia significativa en el desempeño del rodamiento

Recomendación:

Permanecer dentro de los límites de tolerancia de partes adyacentes

Ajustes de Rodamientos Norma ISO

- ① Línea cero
 - ② Diámetro nominal
 - ③ Ajuste libre
 - ④ Ajuste de transición
 - ⑤ Ajuste fijo
 - ⑥ Diámetro del eje
 - ⑦ Agujero del alojamiento
- Δ_{Dmp} = tolerancia del diámetro exterior del rodamiento
- Δ_{dmp} = tolerancia del agujero del rodamiento

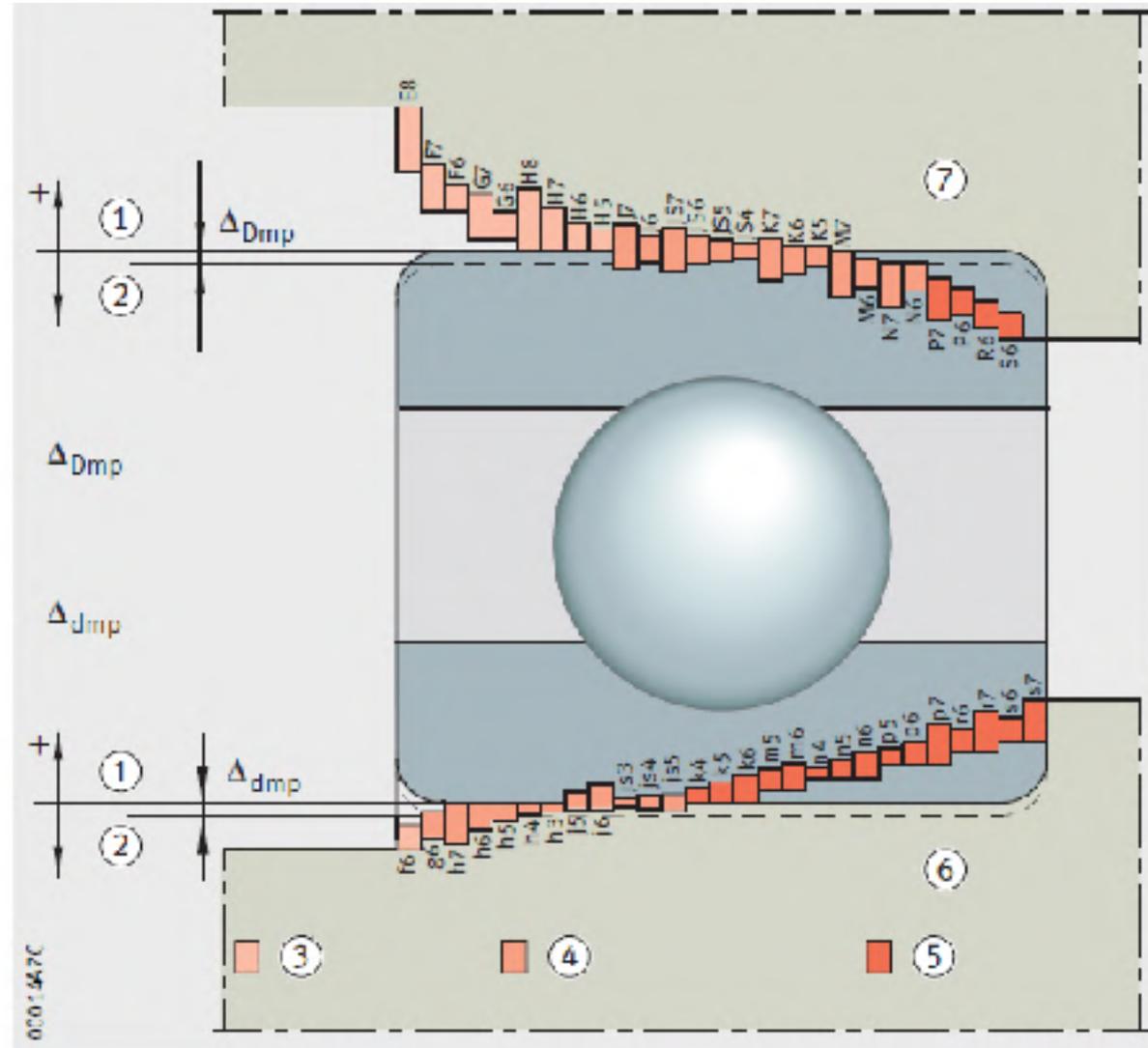


Figura 14
Ajustes para rodamientos

Condiciones de rotación	Tipo de rodamiento	Diámetro del eje mm	Desplazamiento Larga	Campos de tolerancia	
Carga puntual para el anillo interior	Rodamientos a bolas, rodamientos de rodillos	todos los tamaños	Anillo interior fácilmente desplazable	g6 (g5)	
			Anillo interior difícilmente desplazable. Rodamientos a bolas de contacto angular y rodamientos de rodillos cónicos con anillo interior ajustado	h6 (j6)	
Carga giratoria para el anillo interior o dirección de carga indeterminada	Rodamientos a bolas	todos los tamaños	Rodamientos libres	h6 (g6) ¹⁾	
		hasta 50	Carga normal ²⁾	j6 (j5)	
	Rodamientos de rodillos	50 hasta 100	Carga reducida ³⁾	j6 (j5)	
		100 hasta 200	Carga normal y elevada ⁴⁾	k6 (k5)	
			Carga reducida ³⁾	k6 (m6)	
		más de 200	Carga normal y elevada ⁵⁾	m5 (m5)	
			Carga reducida	n5 (n5)	
		hasta 60	Carga reducida	j6 (j5)	
			Carga normal y elevada	k6 (k5)	
		60 hasta 200	Carga reducida	k6 (k5)	
			Carga normal	m5 (m5)	
		Carga elevada	n6 (n5)		
			200 hasta 500	Carga normal	m5 (m5)
		más de 500	Carga elevada, impactos	p6	
			Carga normal	n6 (p6)	
		Rodamientos de agujas	hasta 50	Carga reducida	k6
			Carga normal y elevada	m5	
		50 hasta 120	Carga reducida	m5	
			Carga normal y elevada	n6	
		120 hasta 250	Carga reducida	n6	
Carga normal y elevada	p6				
250 hasta 400	Carga reducida	p6			
	Carga normal y elevada	n6			
400 hasta 500	Carga reducida	n6			
	Carga normal y elevada	s6			
más de 500	Carga reducida	n6			
	Carga normal y elevada	s6			

Mecanizado y ejecución de los apoyos Rodamientos Precisión Normal

1) Para un montaje más fácil.

2) $C/P > 10$

3) $C/P > 12$

4) $C/P < 12$

5) $C/P < 10$

Tolerancias de forma y de posición de las superficies de apoyo de los rodamientos

Para obtener los ajustes deseados, el asiento del rodamiento y las superficies de ajuste en el eje y en el alojamiento deben cumplir ciertas tolerancias, *figura 16* y tabla, página 170.

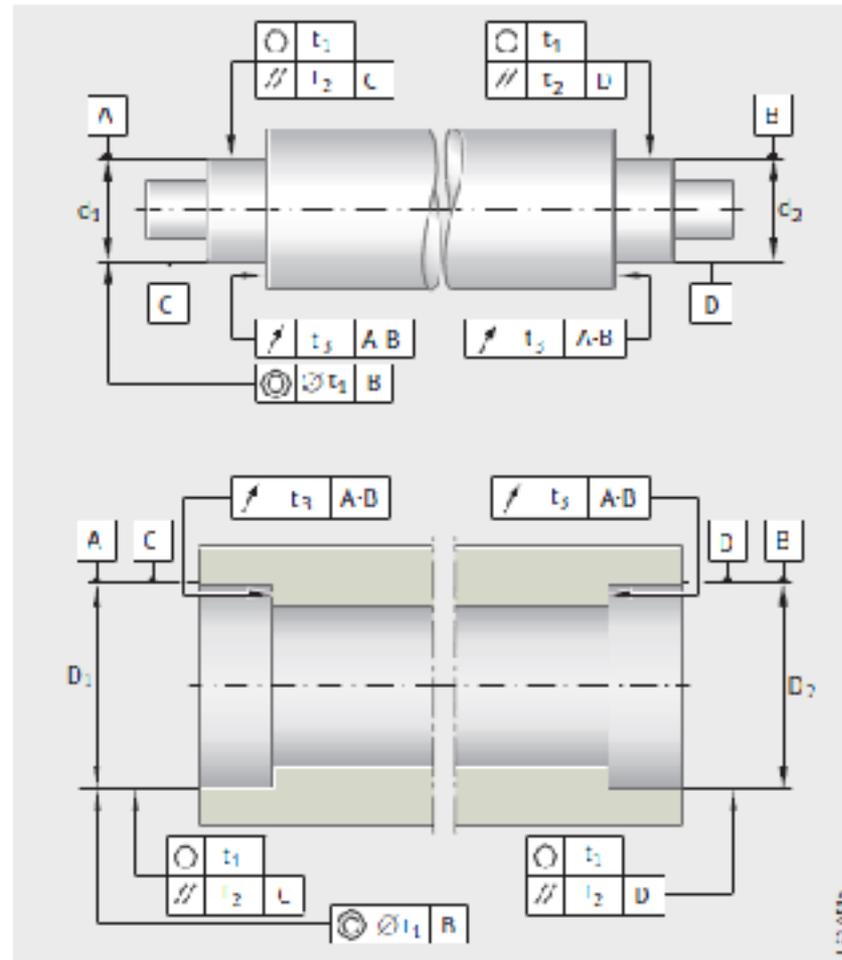


Figura 16
Tolerancias de forma y de posición

Tolerancias de forma y de posición
de las superficies de apoyo
de los rodamientos

Mecanizado y ejecución de los apoyos Rodamientos Precisión P4,P4S, SP

Clase de tolerancia	Superficie de asiento	Tolerancia del diámetro	Tolerancia de redondez	Tolerancia de paralelismo	Tolerancia de salto axial del resalte de apoyo
			t_1	t_2	t_3
PNP6X	Eje	IT5 (IT5)	Carga giratoria IT4/2	IT4	IT4
			Carga puntual IT5/2	IT5	
	Alojamiento	IT7 (IT6)	Carga giratoria IT5/2	IT5	IT5
			Carga puntual IT6/2	IT6	
P5	Eje	IT5	Carga giratoria IT2/2	IT2	IT2
			Carga puntual IT3/2	IT3	
	Alojamiento	IT5	Carga giratoria IT3/2	IT3	IT3
			Carga puntual IT4/2	IT4	
P4P4SSP	Eje	IT4	Carga giratoria IT1/2	IT1	IT1
			Carga puntual IT2/2	IT2	
	Alojamiento	IT5	Carga giratoria IT2/2	IT2	IT2
			Carga puntual IT3/2	IT3	
UP	Eje	IT3	Carga giratoria IT0/2	IT0	IT0
			Carga puntual IT1/2	IT1	
	Alojamiento	IT4	Carga giratoria IT1/2	IT1	IT1
			Carga puntual IT2/2	IT2	

Tolerancias básicas ISO (calidades IT) según DIN ISO 286, ver tablas, página 172.

TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES

▼ Tolerancias básicas ISO (calidades IT) según DIN ISO 286

Dimensiones nominales en mm

más de hasta	1 3	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 250	250 315	315 400	400 500	500 630	630 800	800 1000	1000 1250	1250 1600	1600 2000	2000 2500	2500 3150
--------------	--------	--------	---------	----------	----------	----------	----------	-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Valores en μm

IT0	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6								
IT1	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8								
IT2	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10								
IT3	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15								
IT4	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20								
IT5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	29	32	36	42	50	60	70	80
IT6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	44	50	56	63	78	92	110	135
IT7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	70	80	90	105	125	150	175	210
IT8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97	110	125	140	165	195	230	280	330
IT9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	175	200	230	260	310	370	440	540
IT10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250	280	320	360	420	500	600	700	860
IT11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400	440	500	560	660	780	920	1100	1350
IT12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630	700	800	900	1050	1250	1500	1750	2100

Tolerancias de Maquinado en Flechas

Rodamientos de Precisión

Machining tolerances of the shaft

Nominal shaft diameter		Deviation for d		Cylindricity	Flatness	Axial runout	Co-axiality	Mean roughness
d		μm		μm	μm	μm	μm	μm
over	incl.			t ₁	t ₃	t ₄	t ₅	R _a
-	10	2	-2	0,6	0,6	1	2,5	0,2
10	18	2,5	-2,5	0,8	0,8	1,2	3	0,2
18	30	3	-3	1	1	1,5	4	0,2
30	50	3,5	-3,5	1	1	1,5	4	0,2
50	80	4	-4	1,2	1,2	2	5	0,4
80	120	5	-5	1,5	1,5	2,5	6	0,4
120	180	6	-6	2	2	3,5	8	0,4
180	250	7	-7	3	3	4,5	10	0,4
250	315	8	-8	4	4	6	12	0,8
315	400	9	-9	5	5	7	13	0,8
400	500	10	-10	6	6	8	15	0,8
500	630	11	-11	7	7	9	16	0,8
630	800	12	-12	8	8	10	18	0,8

Tolerancias de Maquinado en Alojamiento Rodamientos de Precisión

Machining tolerances of the housing

Nominal housing bore diameter		Deviation for D				Cylindricity	Flatness	Axial runout	Co-axiality	Mean roughness
D	mm	μm		μm		μm	μm	μm	μm	μm
over	incl.	Locating bearing	Non-locating bearing	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	R_a	
10	18	+3	2	+7	+2	1,2	1,2	2	3	0,4
18	30	+4	2	+8	+2	1,5	1,5	2,5	4	0,4
30	50	+4	3	+10	+3	1,5	1,5	2,5	4	0,4
50	80	+5	3	+11	+3	2	2	3	5	0,4
80	120	+6	-4	+14	+4	2,5	2,5	4	6	0,8
120	180	+8	-4	+17	+5	3,5	3,5	5	8	0,8
180	250	+10	-4	+21	+7	4,5	4,5	7	10	0,8
250	315	+12	-4	+24	+8	6	6	8	12	1,6
315	400	+13	-5	+27	+9	7	7	9	13	1,6
400	500	+15	-5	+30	+10	8	8	10	15	1,6
500	630	+16	-6	+33	+11	9	9	11	16	1,6
630	800	+18	-6	+36	+12	10	10	12	18	1,6
800	1000	+21	-7	+42	+14	11	11	14	21	1,6

TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES

Tolerancias de mecanizado de las partes adyacentes
Tabla8a: Eje para rodamientos para husillos.

Tolerancias recomendadas para mecanizar el eje de rodamientos para husillos													
Dimensiones en mm													
Diámetro nominal del eje d	por encima de 0 hasta	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500	630
Tolerancias en μm													
Dimensión para d		2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10	11
		-2	-2,5	-3	-3,5	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
Forma cilíndrica	t_1	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6	7
Planitud	t_2	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6	7
Salto axial	t_4	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8	9
Coaxialidad	t_5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	16
Valor medio de rugosidad	F_5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8

TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES

Tolerancias de mecanizado de las partes adyacentes
Tabla 8b: Alojamiento para rodamientos para husillos.

Tolerancias recomendadas para mecanizar el alojamiento de rodamientos para husillos													
Dimensiones en mm													
Agujero nominal del alojamiento D	por encima de	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500	630
	hasta	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500	630	800
Tolerancias en μm													
Dimensión para D	Rodam. fijo	+3	+4	+4	+5	+6	+8	+10	+12	+13	+15	+16	+17
	Rodam. libre	-2	-2	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-6	-7
	Rodam. libre	+7	+8	+10	+11	+14	+17	+21	+24	+27	+30	+33	+36
Forma cilíndrica	t_1	+2	+2	+3	+3	+4	+5	+7	+8	+9	+10	+11	+12
Planitud	t_9	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8	9	10
Salto axial	t_4	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10	11	12
Coaxialidad	t_5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	16	18
Valor medio de rugosidad	R_a	0,4	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6

TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES

Tolerancias de mecanizado de las partes adyacentes

Tabla9a: Manguito distanciador interior.

Tolerancias recomendadas para mecanizar el manguito distanciador interior													
Dimensiones en mm													
Agujero nominal del manguito d_2	por encima de	0	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500
	hasta	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500	630
Tolerancias en μm													
Dimensión para d_2		9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	44
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Forma cilíndrica	t_1	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	16
Salto axial	t_4	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8	9
Paralelismo	t_6	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8	9
Salto radial	t_7	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	16
Valor medio de rugosidad (incl. superficies frontales)	R_a	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	1,6	1,6	1,6	1,6

TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES

Tolerancias de mecanizado de las partes adyacentes

Tabla9b: Manguito distanciador exterior.

Tolerancias recomendadas para mecanizar el manguito distanciador exterior													
Dimensiones en mm													
Diámetro exterior nominal del manguito D_2	por encima de	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500	630
	hasta	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500	630	800
Tolerancias en μm													
Dimensión para D_2		-6	-7	-9	-10	-12	-14	-15	-17	-18	-20	-22	-24
		-17	-20	-25	-29	-34	-39	-44	-49	-54	-60	-66	-74
Forma cilíndrica	t_1	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	16	18
Salto axial	l_4	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10	11	12
Paralelismo	t_6	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8	9	10
Valor medio de rugosidad (incl. superficies frontales)	R_a	0,4	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6
Si no se indica lo contrario en el esquema, ambos manguitos distanciadores deberían poseer la misma longitud. Para ello, deberían repasarse las superficies frontales de ambos manguitos sujetos.													

EJEMPLO.

Husillo Principal en un Torno NC

DATOS DE OPERACIÓN

Potencia de entrada 27 kW

Máximo de velocidad del rodamiento de precisión 9,000 rpm

SELECCION

Lado de trabajo: arreglo de *HCB7014.C.T.P4S.UL* con arreglo en tándem.

Lado motriz: arreglo de rodamientos *HCB71914.C.T.P4S.UL* con arreglo en tándem.

Rodamientos con precarga ligera (UL).

Precisión (P4S).

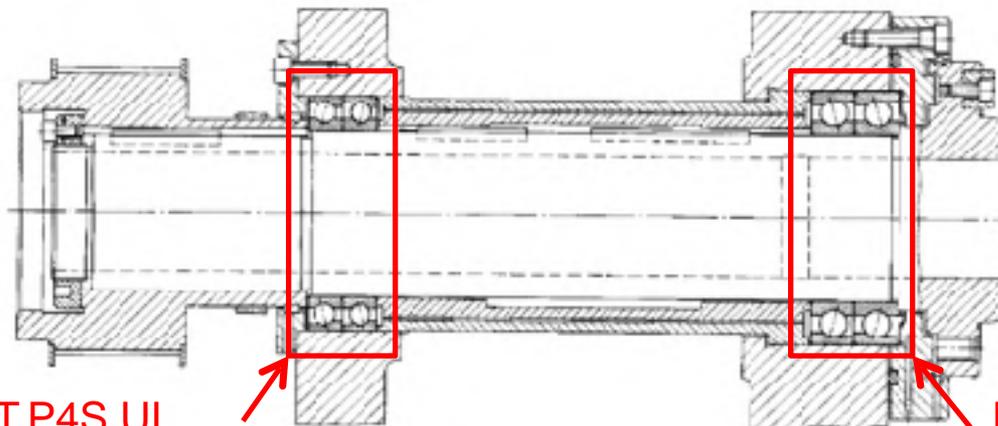
Sin rodamiento libre (flotante); es un sistema rígido.

Ambos arreglos de rodamientos forman un arreglo en O.

TOLERANCIA DEL MECANIZADO DE PARTES ADYACENTES

EJEMPLO. RODAMIENTO DE PRECISIÓN PRINCIPAL DE TORNO
TOLERANCIAS DE MAQUINADO

RODAMIENTO	ASIENTO	TOLERANCIA DE DIAMETRO	TOLERANCIA de Forma (DIN ISO 1101) t_1	TOLERANCIA DE LA VARIACION AXIAL DEL RESALTE t_4
Rodamiento de husillos Lado motriz / lado Trabajo	Eje	+4 / -4 μm	1.5 μm	2.5 μm
	Alojamiento	+ 4 / -6 μm	3.5 μm	5 μm



B71914.C.T.P4S.UL

B7014.C.T.P4S.UL

Ajuste en Función de la Velocidad

Los rodamientos FAG de super-precisión son adecuados para las máximas velocidades de giro.

En el caso de la lubricación con grasa, es posible alcanzar valores de velocidad $n * dm$ de hasta **$2 * 10^6$ mm/min**, mientras que con lubricación con aceite se pueden alcanzar valores de **$3 * 10^6$ mm/min** y superiores.

Estas velocidades originan elevadas fuerzas centrífugas, que provocan la expansión de los aros interiores.

Tal expansión de los aros, origina un despegue ó un aflojamiento del aro interior con la flecha, y por lo tanto una reducción del juego entre el aro interior y la flecha.

Ajuste en Función de la Velocidad

Las posibles consecuencias de este proceso son:

- Corrosión de contacto.
- Giro del aro interior sobre el eje.
- Escaso guiado del eje, con elevada tendencia a las vibraciones.
- Reducido rendimiento del rodamiento a causa de posibles desalineaciones.

Ajuste en Función de la Velocidad

Cálculo de la interferencia Valor f_w

Estos efectos pueden evitarse por medio de el ajuste de apriete correspondiente sobre el eje.

La interferencia necesaria puede calcularse en el diagrama ó utilizar el Programa BEARINX®. Los valores calculados de esta forma nos darán un ajuste bajo el cual se tendrá todavía *una interferencia de una micra $1\mu m$, aún a alta velocidad.*

El **Valor f_w** puede obtenerse de los diagramas siguientes:

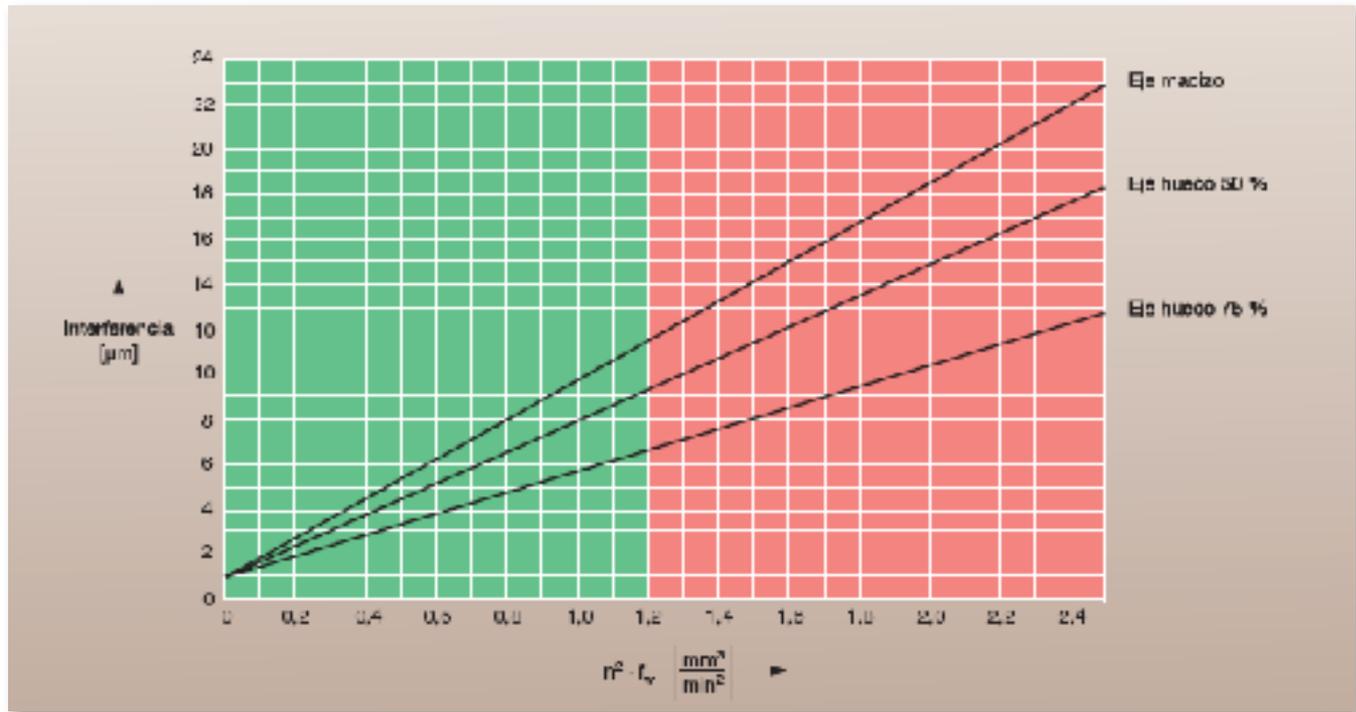
- . Tabla14, para los tipos de rodamiento B, HCB y XCB
- Tabla15, para los tipos de rodamiento HS, HC y XC

Una alta interferencia origina, particularmente en el caso de rodamientos rígidamente ajustados, a un incremento en la precarga, que a su vez, da lugar a un incremento de temperatura del arreglo del rodamiento y a una capacidad reducida de velocidad. Este incremento en precarga debe ser compensada por medio de medidas adecuadas

Ajuste en Función de la Velocidad

Cálculo de la interferencia

En el caso de valores calculados sea $f_w \cdot n^2 > 1.2$ (área roja, *diagrama 13*), se recomienda consultar con el departamento de Ingeniería de Aplicación del Grupo Schaeffler.



Ajuste en Función de la Velocidad

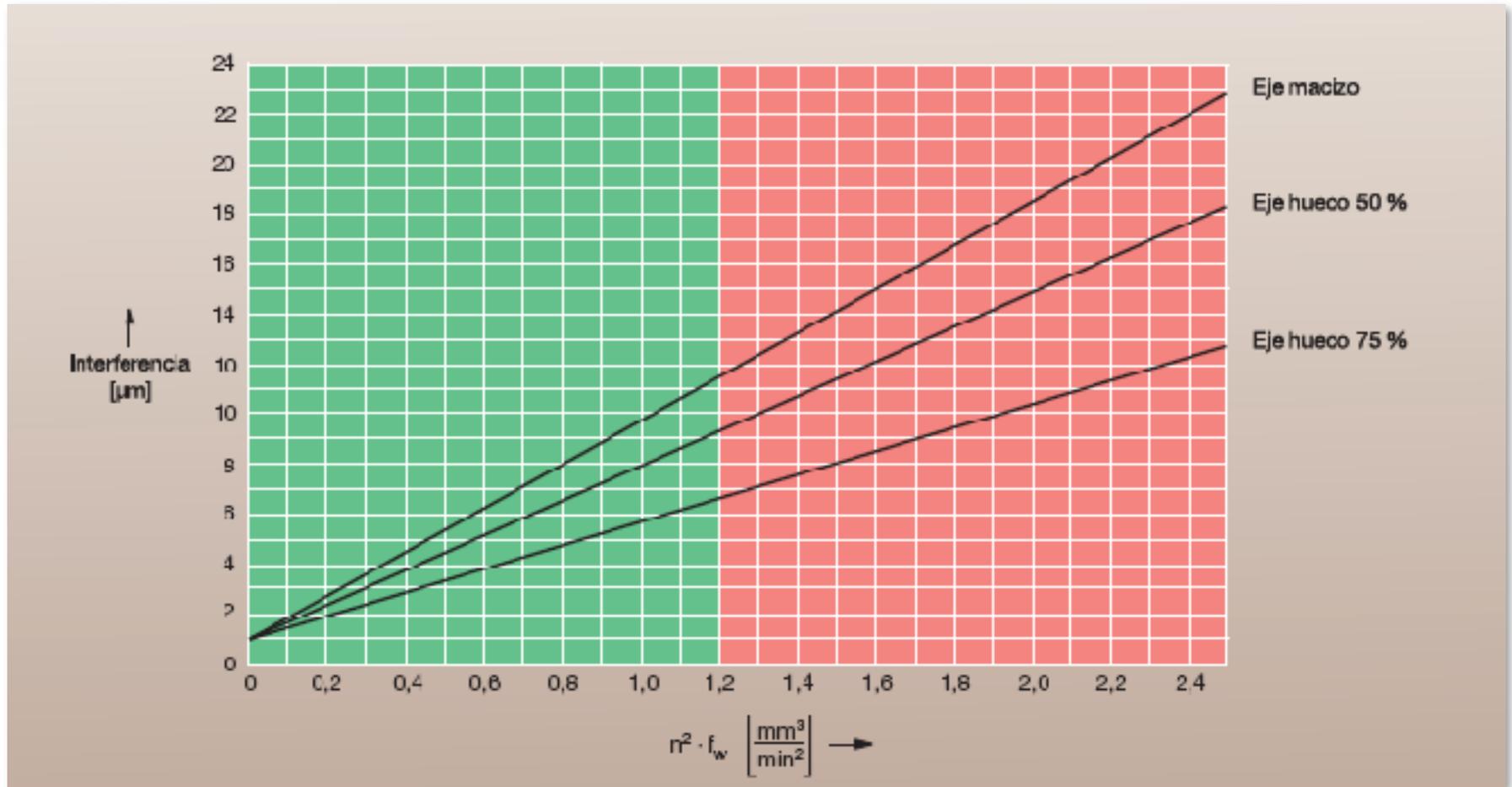


Tabla13: Determinación del apriete eje/aro interior en función de la velocidad

Ajuste en Función de la Velocidad

El valor f_w se obtiene del diagrama. Tabla 14, para los tipos de rodamiento B, HCB y XCB

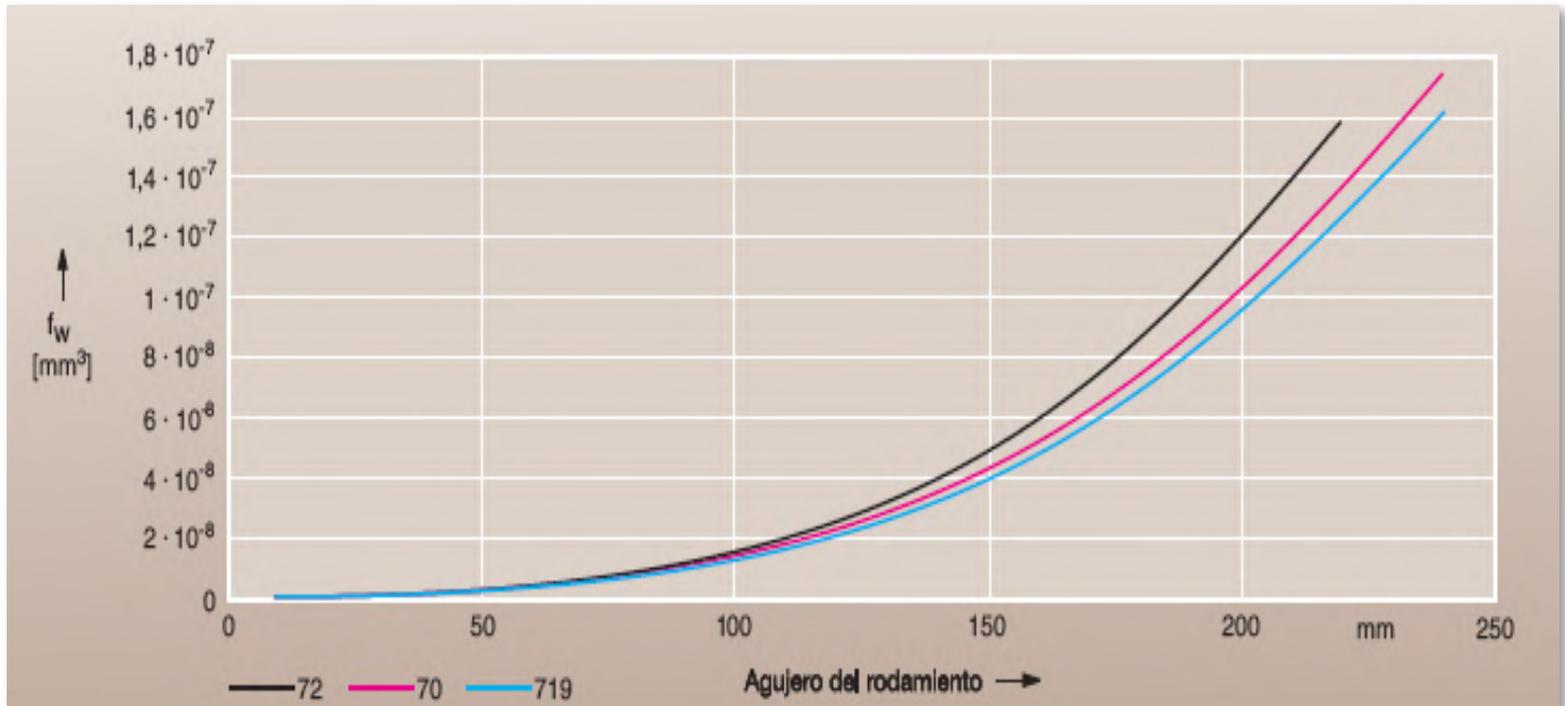


Tabla 14: Factor f_w para la determinación del ajuste aro interior/eje en función de la velocidad, para las series de rodamientos B, HCB y XCB

Ajuste en Función de la Velocidad

El valor f_w se obtiene del diagrama. Tabla15, para los tipos de rodamiento HS, HC y XC

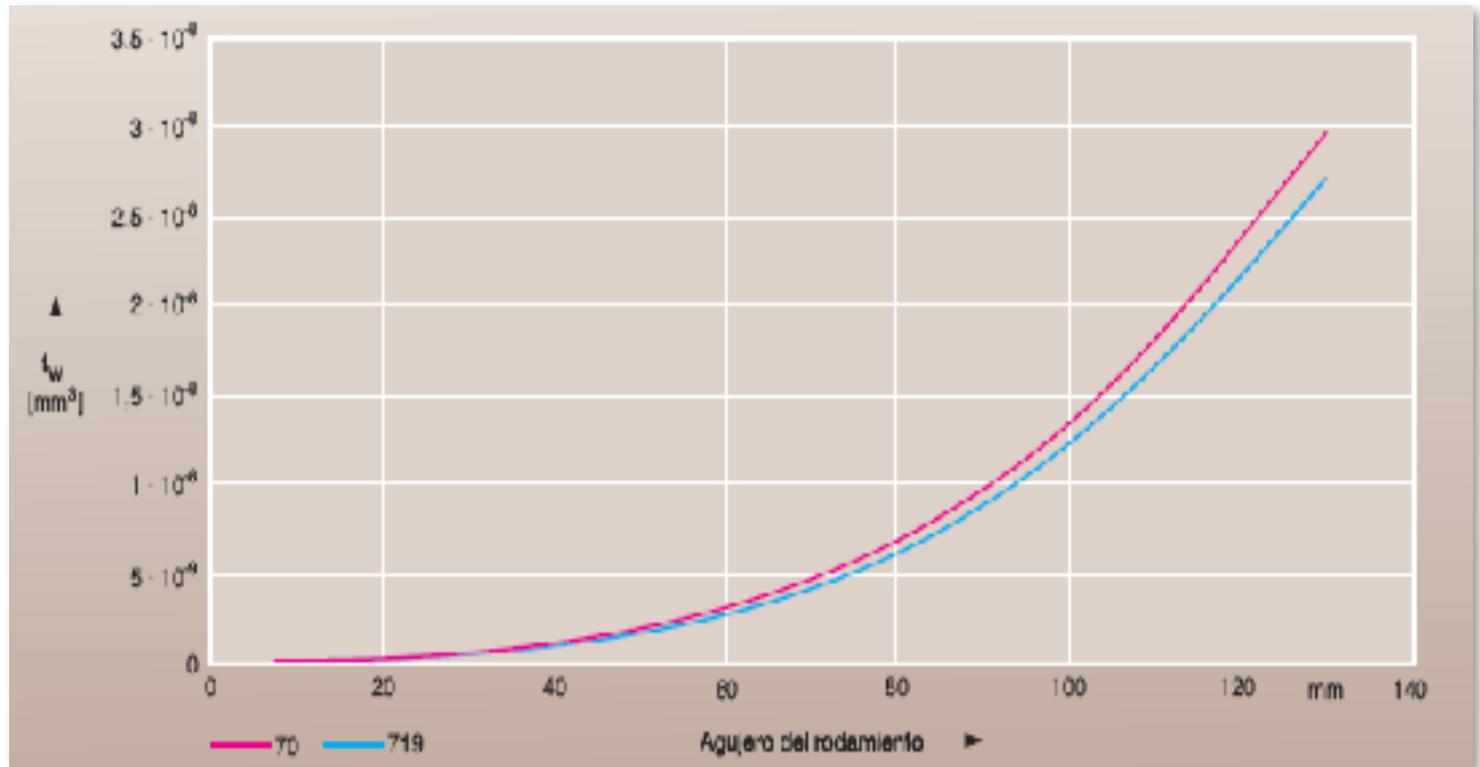


Tabla15: Factor f_w para la determinación del ajuste aro interior/eje en función de la velocidad, para las series de rodamientos HS, HC y XC

Ajuste en Función de la Velocidad

Si el valor obtenido es $f_w \cdot n^2 < 1.2$, la dimensión de la flecha resultante para el eje es como sigue:

Ejemplo:

HCB7014.C.T.P4S.UL

Datos:

Velocidad $n = 16,000$ rpm

Dimensión real del aro interior: $70\text{mm} - 3\mu\text{m} = \mathbf{69.997}$ mm.
(La desviación de la medida real esta marcada en el aro interior).

Eje hueco de 35 mm de agujero y la curva (50 % del diámetro)

Ajuste en Función de la Velocidad

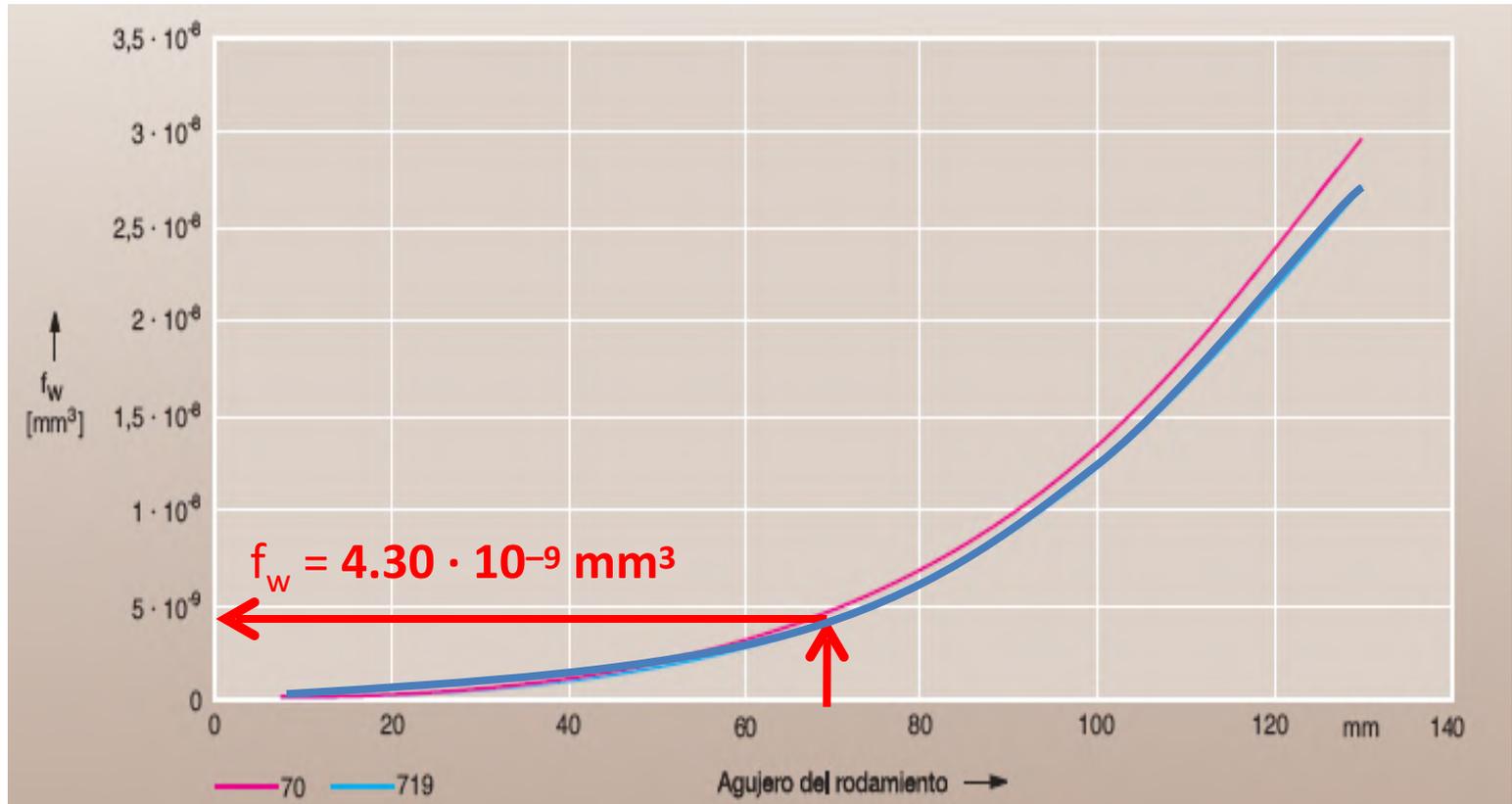
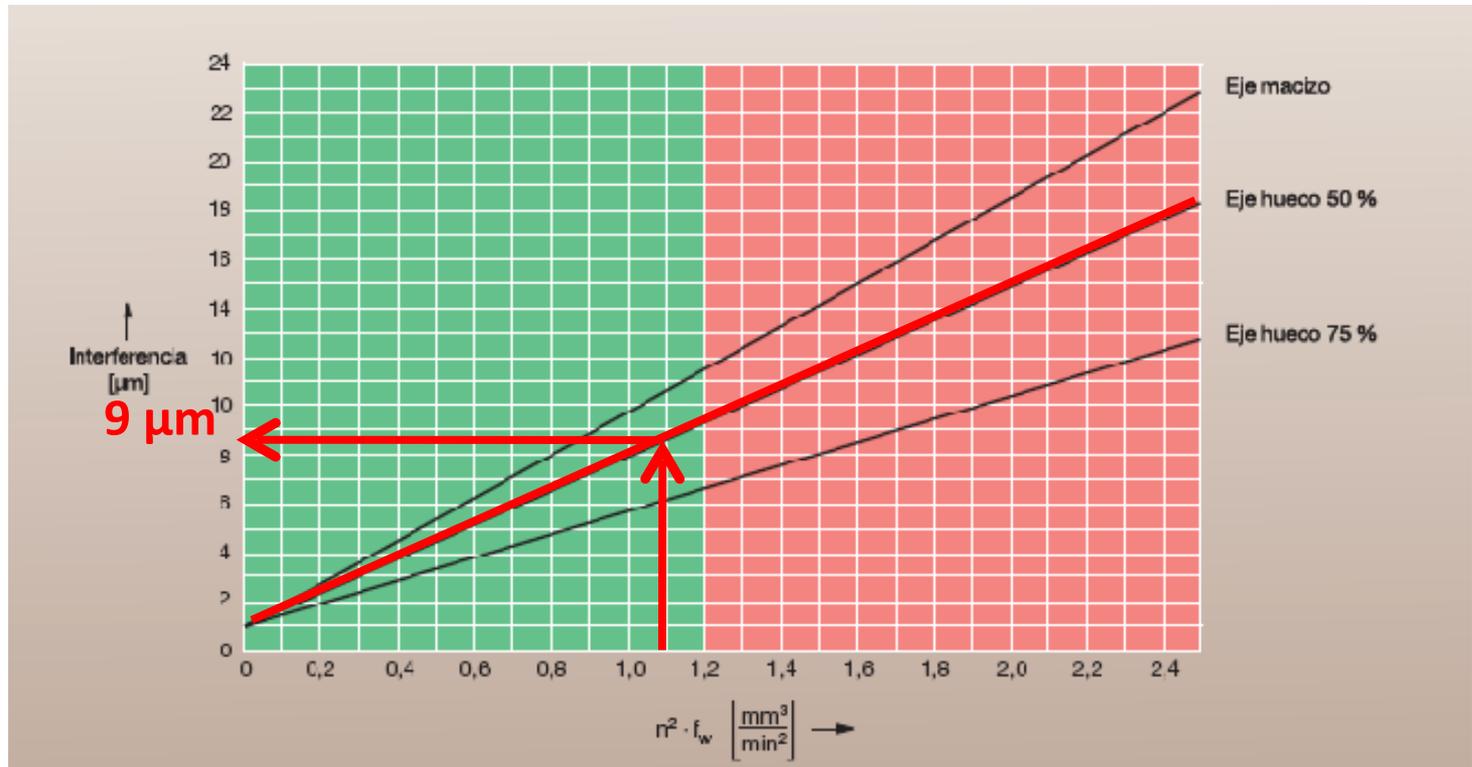


Tabla15: Factor f_w para la determinación del ajuste aro interior/eje en función de la velocidad, para las series de rodamientos HS, HC y XC

Ajuste en Función de la Velocidad



$$n^2 \cdot f_w = (16,000)^2 \cdot (4.30 \cdot 10^{-9}) = 1.1$$

Resulta una interferencia necesaria de **9 μm**.(0.009mm)

La medida real del eje $69.997 + 0.009 \text{ mm}$ debe ser **70.006 mm**; para garantizar que el *aro interior siga asentado firmemente sobre el eje a una velocidad $n = 16,000 \text{ rpm}$.*

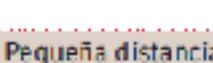
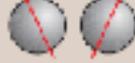
Velocidad de giro (Factor de Reducción de Velocidad)

Las velocidades alcanzables en una disposición específica de rodamientos dependen del balance energético total del sistema.

El número de rodamientos, su disposición, las tensiones internas (juego o precarga), las cargas exteriores y la lubricación, por un lado, y las condiciones de disipación de calor, por el otro lado, son aquí factores decisivos.

Los valores indicados en las tablas de los rodamientos son valores de referencia que pueden ser corregidos en ambos sentidos, en función de las mencionadas condiciones.

Factor de Reducción de Velocidad en Sets de Rodamientos de husillos

Disposición de los rodamientos	Factor f_v Precarga del rodamiento		
	L	M	H
Gran distancia entre rodamientos			
			
	0,85	0,75	0,5
	0,8	0,7	0,5
	0,75	0,65	0,45
Pequeña distancia entre rodamientos			
	0,75	0,6	0,35
	0,65	0,5	0,3
	0,65	0,5	0,3
	0,72	0,57	0,37
	0,54	0,4	0,37

Rodamientos para husillos

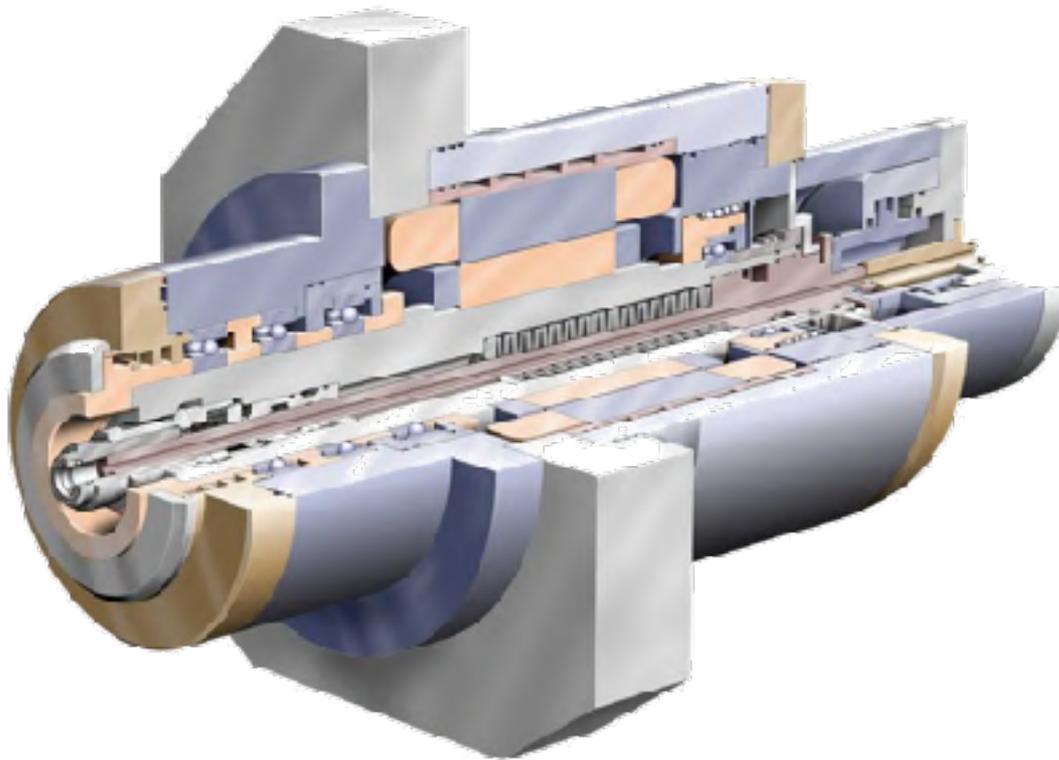
Las velocidades alcanzables especificadas en las tablas ofrecen valores de referencia de la aptitud para las altas velocidades de rodamientos individuales con precarga elástica.

Estas velocidades no se alcanzan en el montaje de *rodamientos rígidos precargados, parejas o grupos de rodamientos*.

Los *factores de reducción* que pueden ser utilizados se muestran en la tabla 14.

14: Reducción de la velocidad ($n^* \cdot f_v$) para grupos de rodamientos para husillos

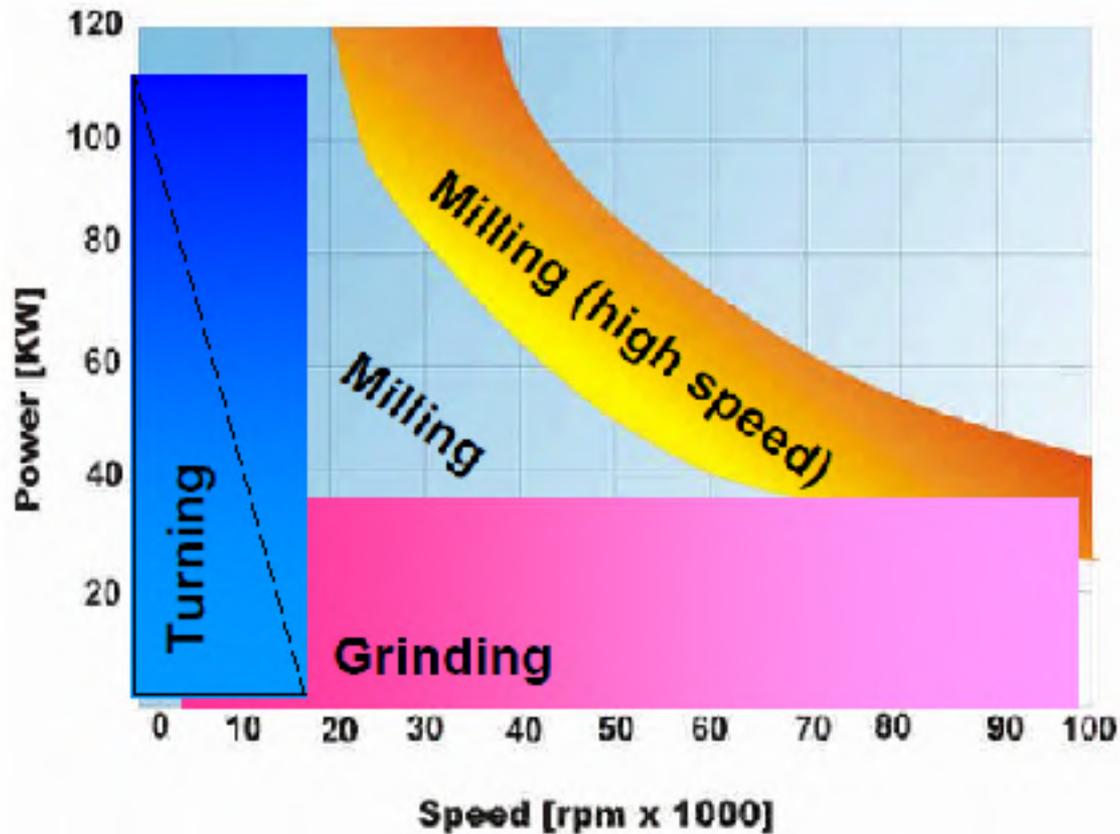
Características de Aplicación de Rodamientos de Precisión en Husillos de Máquinas Herramientas



Aplicaciones

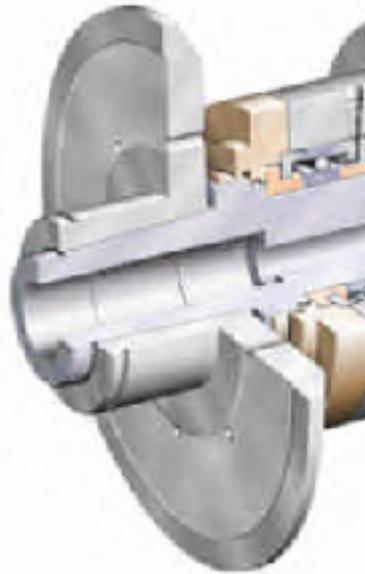
	Metal	Madera	Vidrio	Plástico	Tablillas de circuitos electrónicos
Taladrado					
Fresado					
Torneado					
Desbaste					
Rimado					
Honeado					

Velocidades Típicas de corte de Metal y Rangos de Potencia

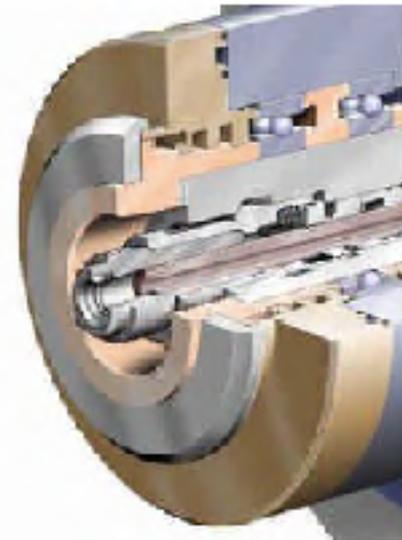




Torneado



Rectificado



Fresado

Comparativo de aplicaciones y datos de Desempeño



Bearing arrangement		Typical application	Speed suitability %	System rigidity		Load carrying capacity		Temperature behaviour	
front	rear			axial	radial	axial	radial	Operating temperature	Sensitivity
==≈	==	Universal	50	100	100	60	100	+	+
<<>>	==	Grinding	72	65	100	75	50	++	++
<<>	==	Turning	65	44	86	75	47	+	++
<<>	<>	Turning, grinding	65	44	84	75	44	++	+
<>	=	Wood, motor	75	32	79	35	42	+++	+++
<>	<>	Drilling, motor	75	32	77	35	40	+++	+++
<	>	Milling, drilling	85	30	62	35	22	+++++	+++++
<<	>>	Milling, drilling, universal	80	61	95	75	44	++++	+++++
<<<	>>	Milling, drilling, universal	75	76	98	100	46	+++	+++++
<	≈>	Motor	100	23	60	30	27	+++++	+++++
<<	≈>>	Motor	100	46	92	60	52	+++++	+++++
<≈>	≈>	Motor	100	25	89	25	60	+++++	+++++
<≈>	=	Motor	80	23	82	30	46	+++++	++++
<<≈>	≈>	Motor	100	46	93	50	65	+++++	+++++
<<≈>>	≈>>	Motor	100	48	98	48	65	++++	+++++

- 100 Optimum
- + Very unfavourable
- +++++ Very good
- < Spindle bearing
- = Single row cylindrical roller bearing
- == Double row cylindrical roller bearing
- ≈ Double direction axial angular contact ball bearing
- ≈ Spring

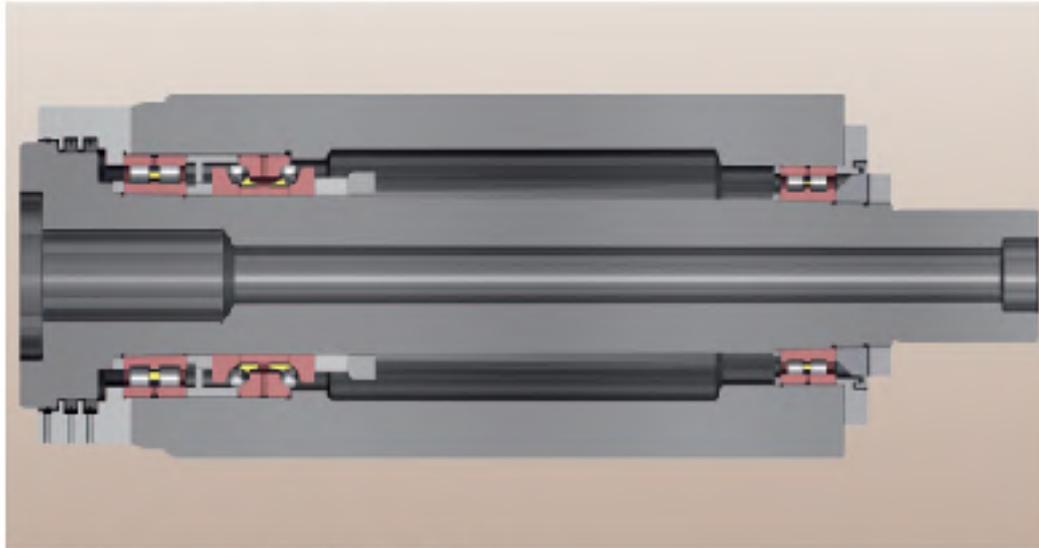
Comparativo de aplicaciones y Datos de Desempeño

Disposición de los rodamientos delante detrás	Aplicación típica	Aptitud para la velocidad %	Rigidez del sistema %		Capacidades de carga %		Comportamiento de la temperatura Evaluación	
			axial	radial	axial	radial	Temperatura	Sensibilidad en servicio
==	Universal	50	100	100	60	100	★★★★★★	★★★★★★
<< >>	Rectificar	72	65	100	75	50	★★★★★★	★★★★★★
<< >	Tornear	65	44	86	75	47	★★★★★★	★★★★★★
<< >	Tornear, rectificar	65	44	86	75	44	★★★★★★	★★★★★★
< >	Madera, motor	75	32	79	35	43	★★★★★★	★★★★★★
< >	Taladrar, motor	75	32	77	35	40	★★★★★★	★★★★★★
< >	Motor	75	32	59	35	38	★★★★★★	★★★★★★
< >	Fresar, taladrar	85	30	62	35	22	★★★★★★	★★★★★★
<< >>	Fresar, taladrar, universal	80	61	95	75	44	★★★★★★	★★★★★★
<<< >>>	Fresar, taladrar, universal	75	76	98	100	46	★★★★★★	★★★★★★
< >	Motor	100	25	60	30	27	★★★★★★	★★★★★★
<< >>	Motor	100	46	92	60	52	★★★★★★	★★★★★★
< >	Motor	100	25	89	25	60	★★★★★★	★★★★★★
< >	Motor	100	23	58	30	47	★★★★★★	★★★★★★
< >	Motor	80	23	82	30	46	★★★★★★	★★★★★★
<< >>	Motor	100	46	93	50	45	★★★★★★	★★★★★★
<< >>	Motor	100	48	98	48	45	★★★★★★	★★★★★★

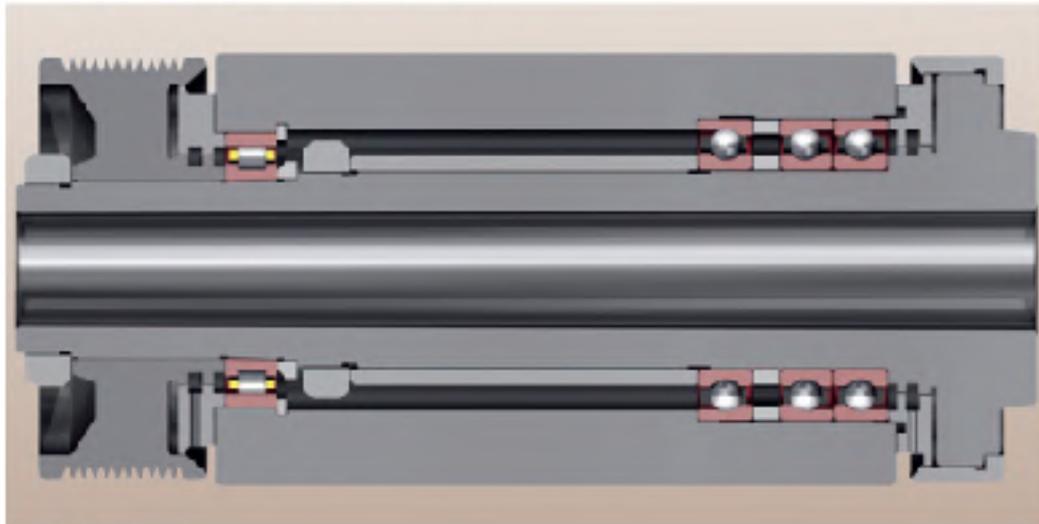
Significado de los símbolos: 100 = óptimo, ★★★★★★★ muy desfavorable, ★★★★★★★ muy bien
 < Rodamiento para husillos, - de una y - - de dos hileras (rodamientos de rodillos cilíndricos), ≥ 2344... ⊥ Rodamientos TD, ~ Muelle
 Los datos son valores orientativos, referidos a un husillo con d = 70 mm de diámetro de eje, una distancia entre rodamientos L = 3d y a un volante A = L/2

Arreglos de Rodamientos en Husillos

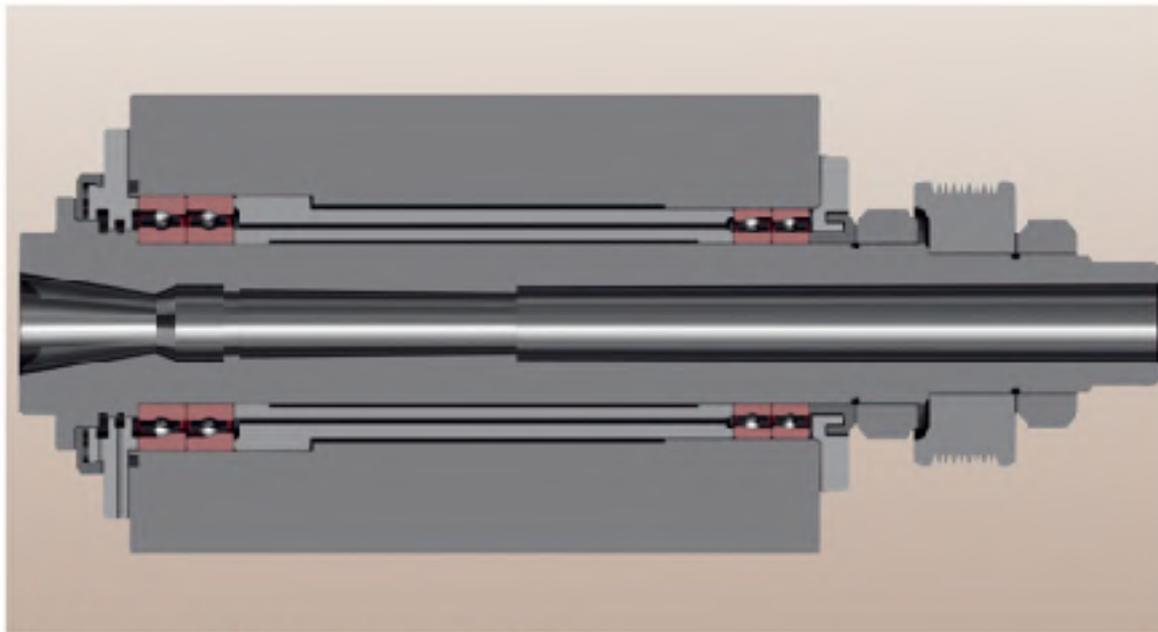
Ejemplos de disposiciones de rodamientos.



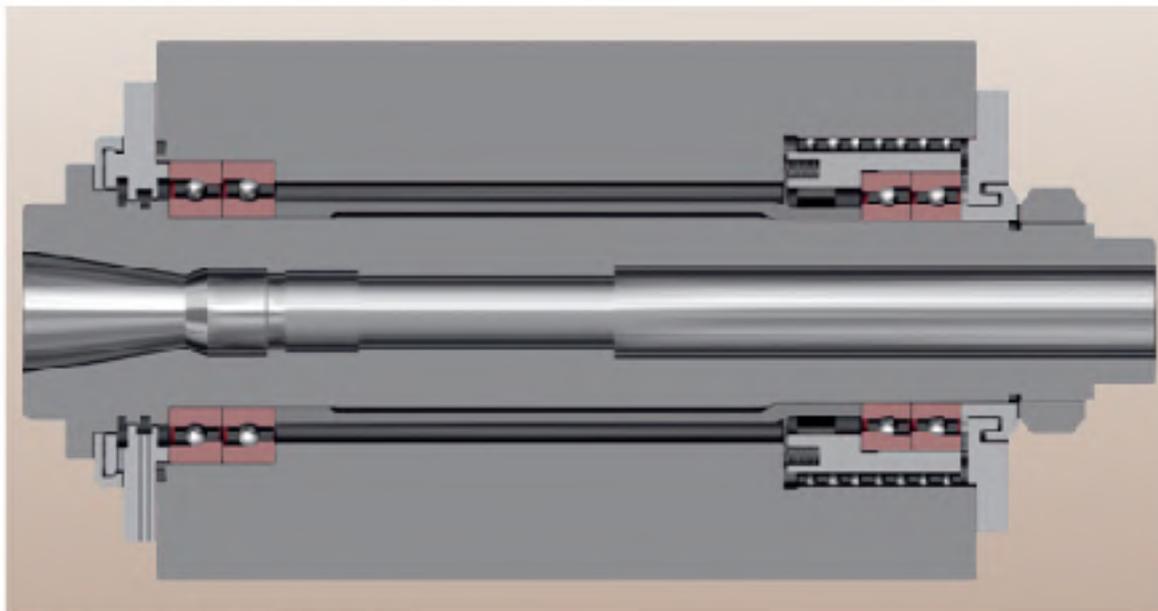
7: Husillo de brida, centros de mecanado, elevada capacidad de carga.



8: Husillo de tornos

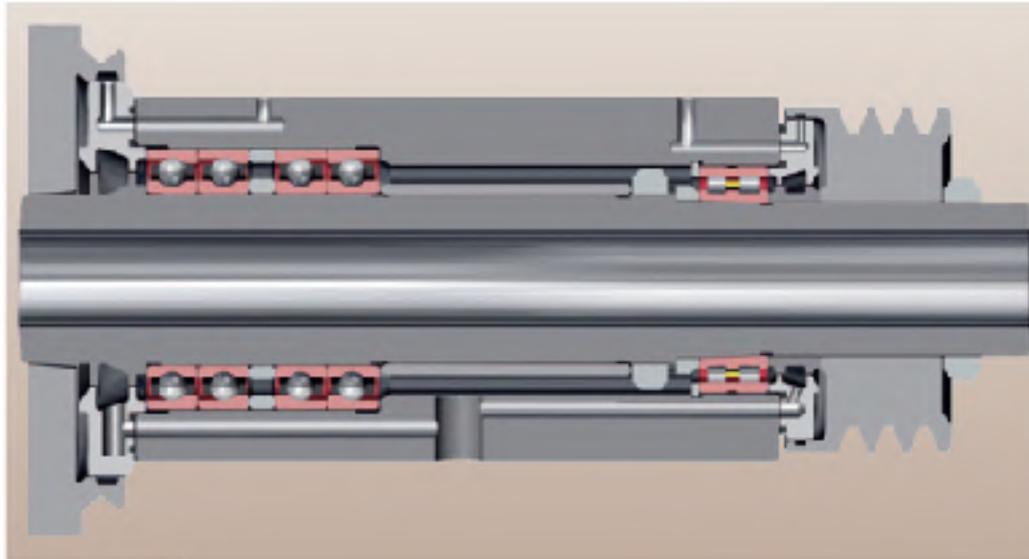


9: Centro de mecanizado, husillo de frizado para elevadas velocidades

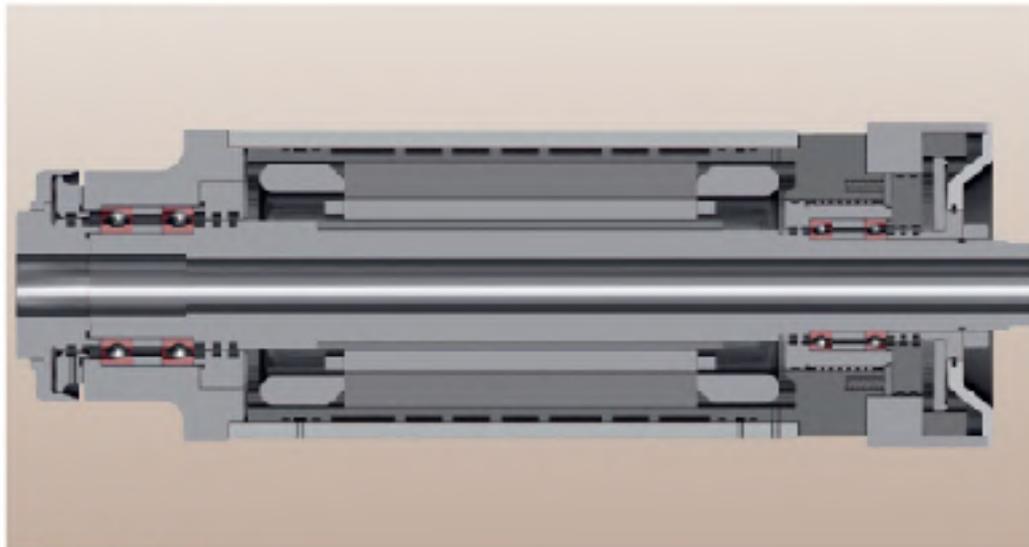


10: Centro de mecanizado para elevadas velocidades

Arreglos de Rodamientos en Husillos

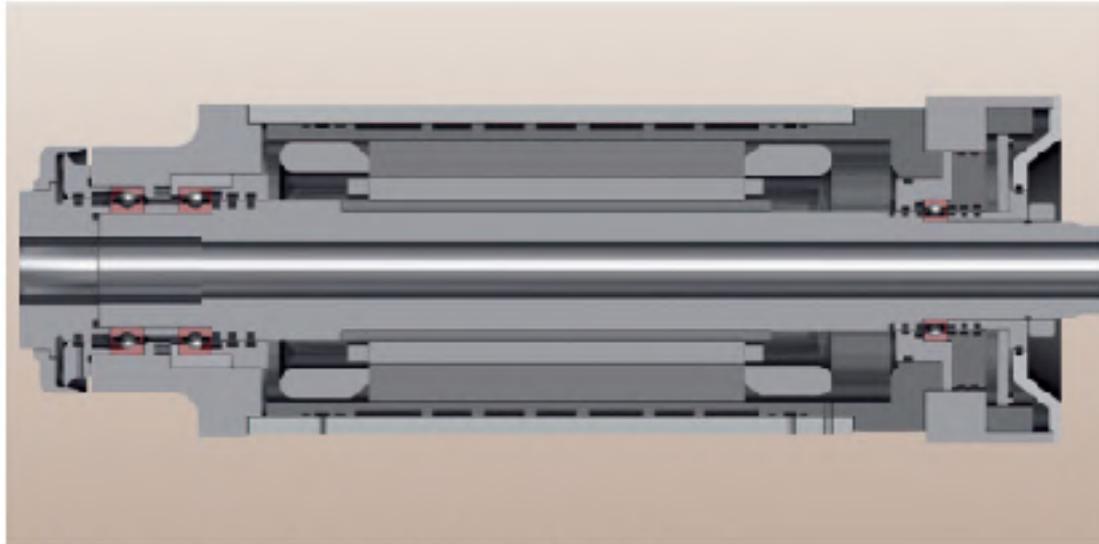


11: Husillo de rectificadora

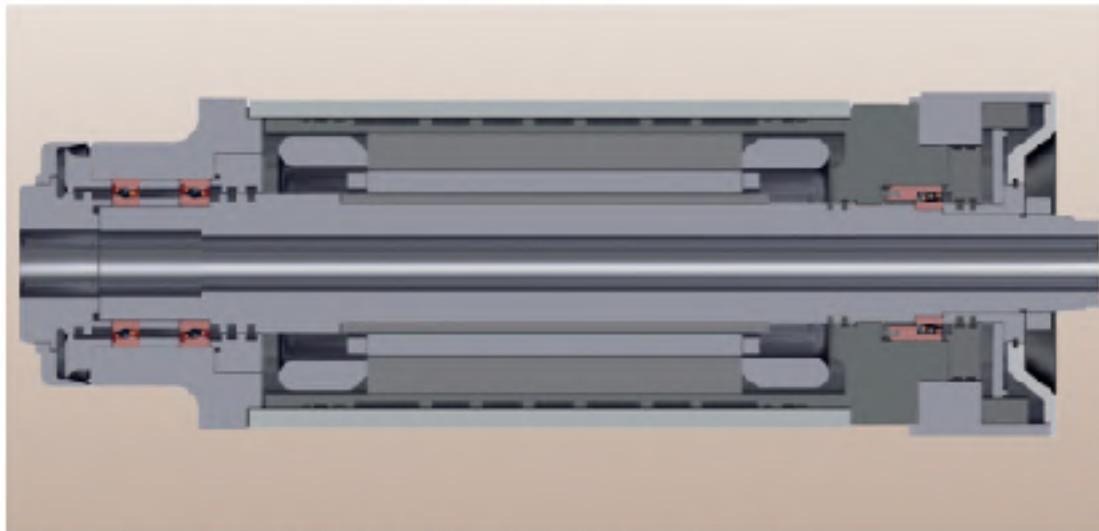


12: Electromandril de alta velocidad

Arreglos de Rodamientos en Husillos



13: Eje de alta frecuencia con rodamientos de desplazamiento flotante (FD.)



14: Eje de alta frecuencia con unidades de rodamientos libres precargados por muelles (SFP.)

Arreglos de Rodamientos en Husillos

Examples
of bearing arrangements

Machining centre

Figure 5
Milling spindle for high loads

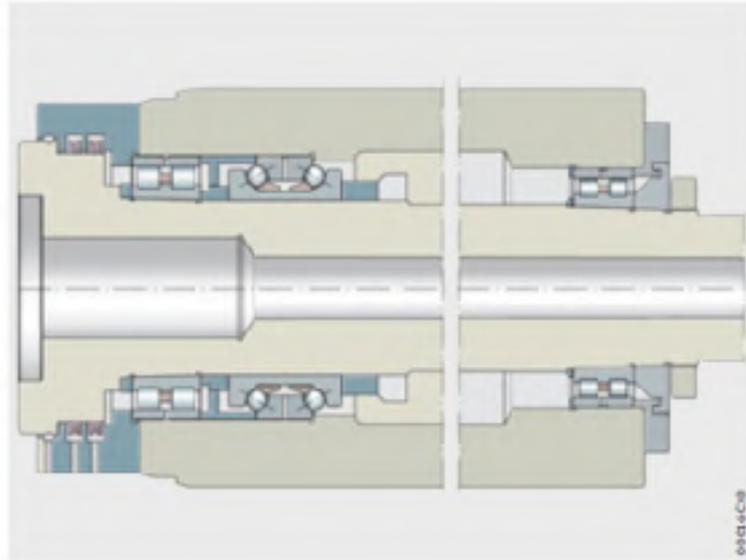
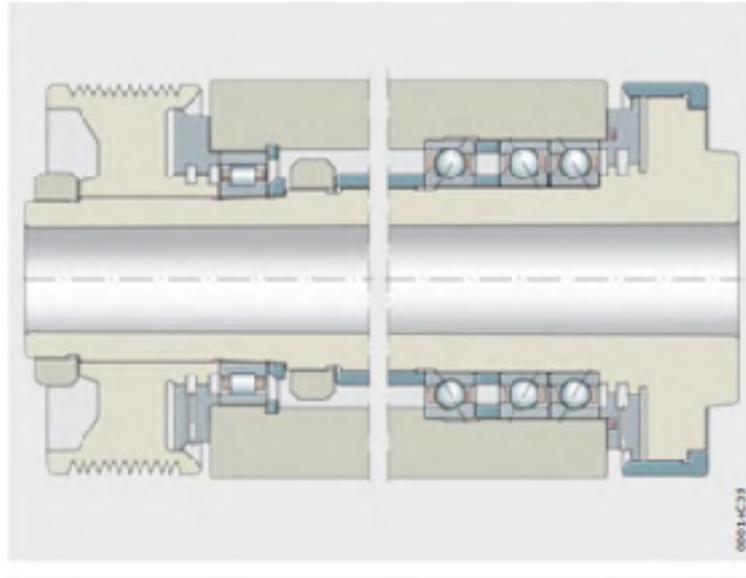
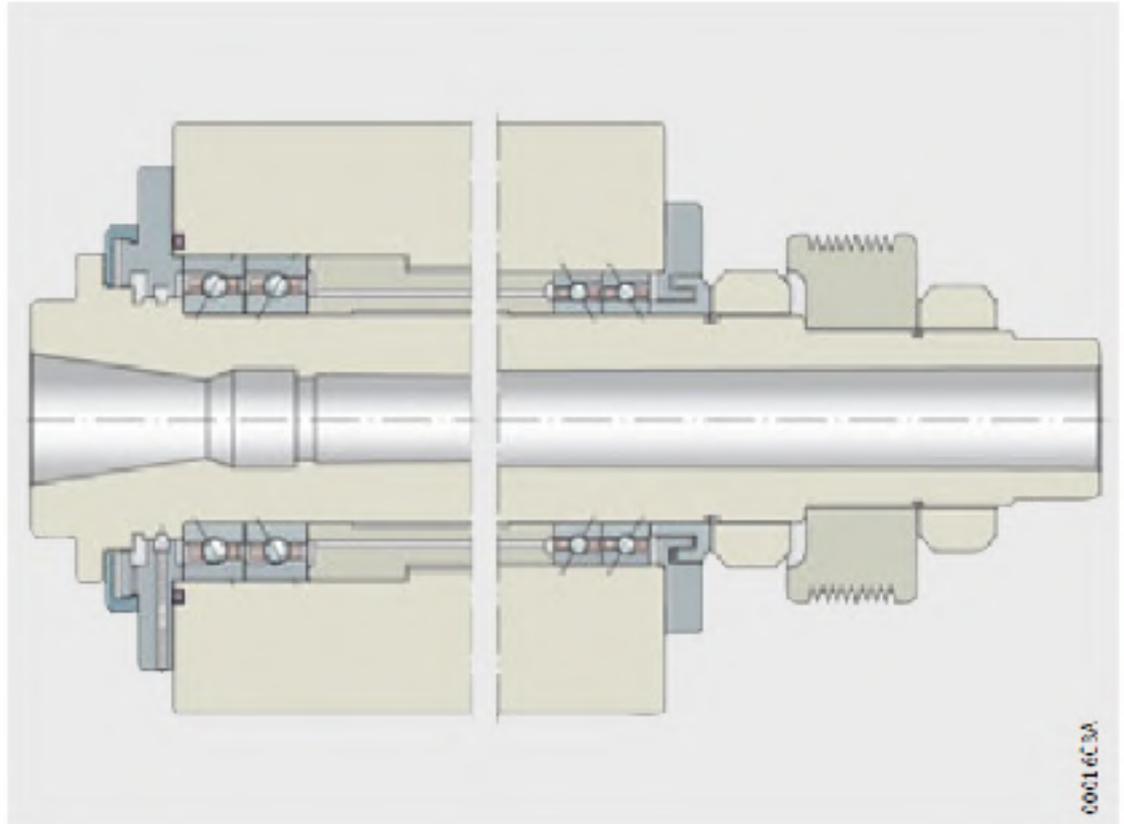


Figure 6
Turning spindle



Arreglos de Rodamientos en Husillos



Machining centre

Figure 7
Milling spindle for high speeds

Machining centre

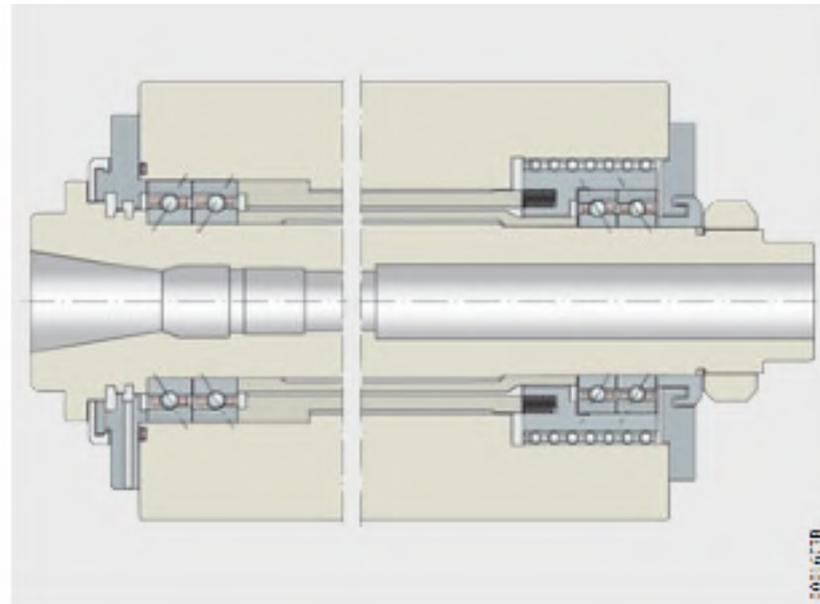
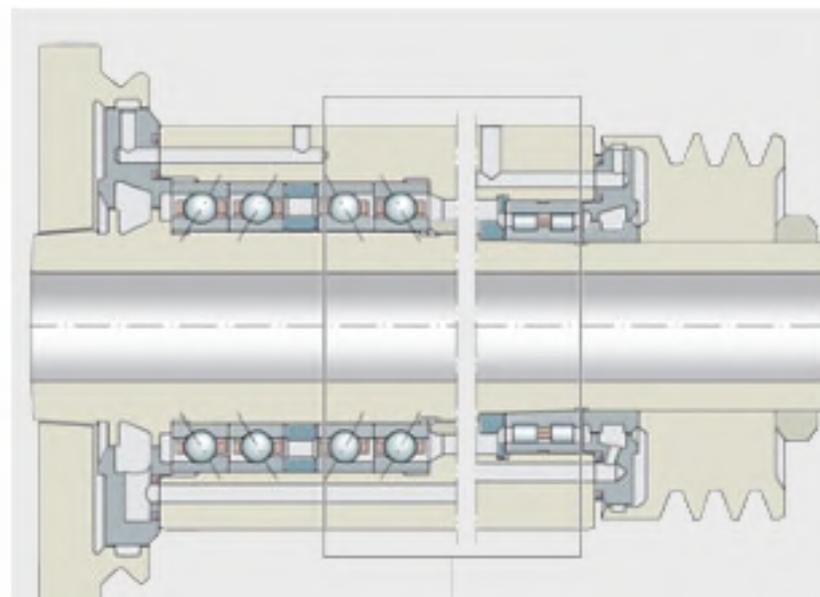


Figure 8
Willing spindle for very high speeds



Arreglos de Rodamientos en Husillos

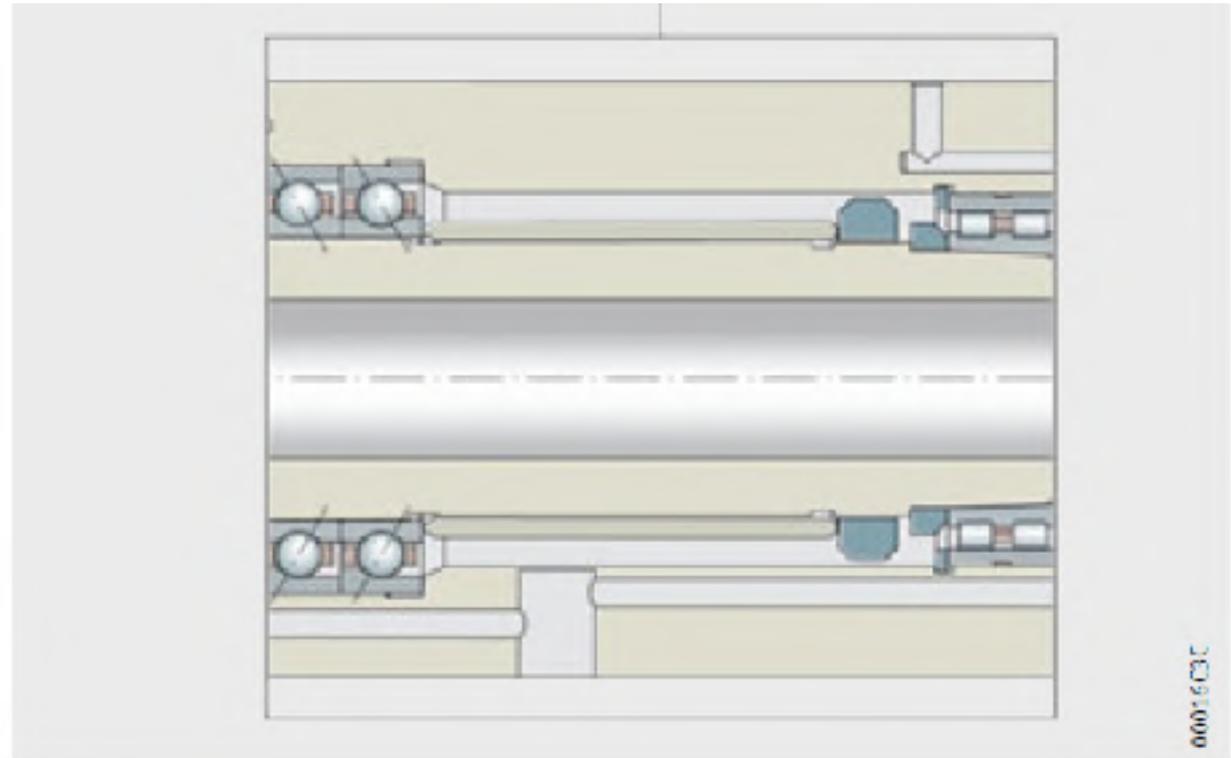


Figure 9
Grinding spindle

Arreglos de Rodamientos en Husillos

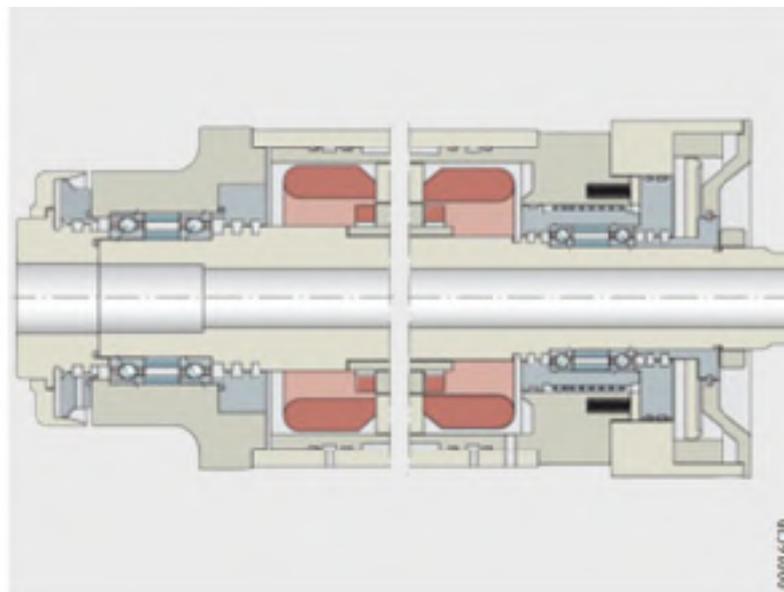
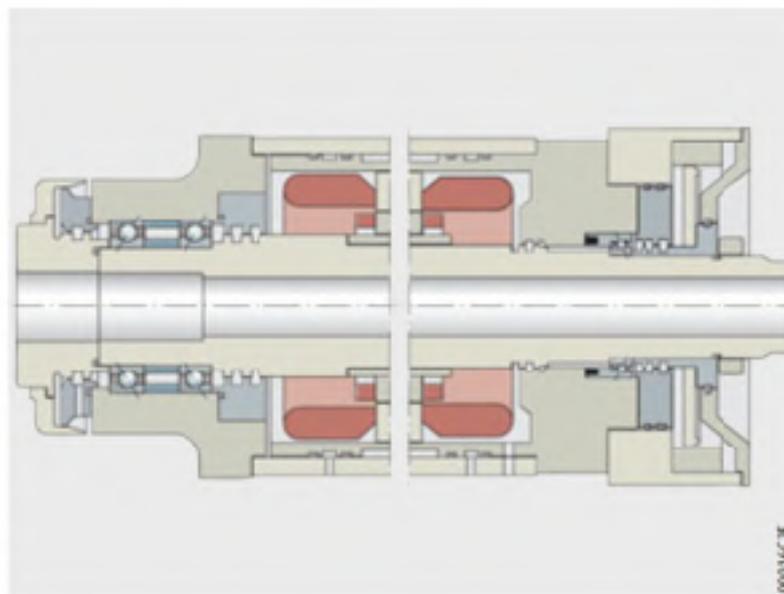
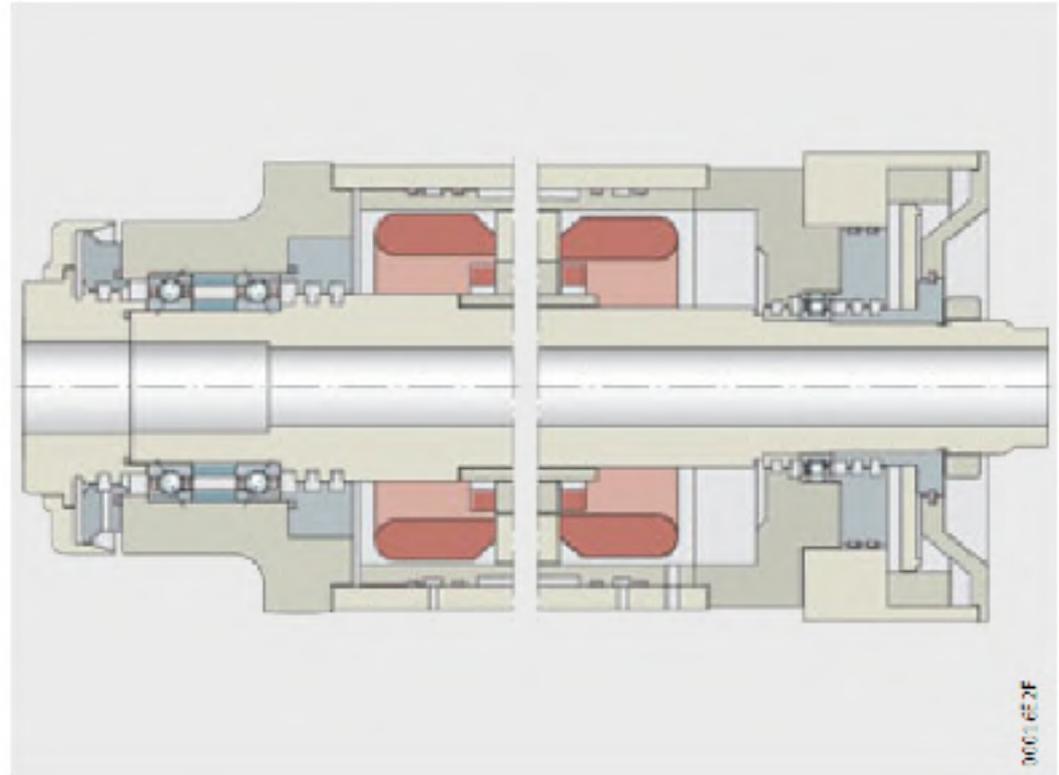


Figure 10
High frequency motor spindle



Spring-preloaded non-locating
bearing unit SPP
Figure 11
High frequency motor spindle

Arreglos de Rodamientos en Husillos



Cylindrical roller
bearing N10...K-TR-PVPA1-SP

Figure 12
High frequency motor spindle

Arreglos de Rodamientos en Husillos

FAG Application Know How Spindle Bearing Arrangements



Rigid Preloaded Spindle Arrangements		Applications	Tendency
Front	Rear		
R1	< >	Milling and drilling spindles, Work centres	
R2	<< >>		
R3	<<< >>		
	Fixed Floating		
RF1	◁ ○	Motor spindles	
RF2	◁ ▷	Drilling and motor spindles	
RF3	<< > ▷	Turning and grinding	
RF4	◁ =	Wood working, motor spindles	
RF5	<< > ■	Turning spindles	
RF6	<< >> =	Grinding and motor spindles	

Arreglos de Rodamientos en Husillos

FAG Application Know How Spindle Bearing Arrangements



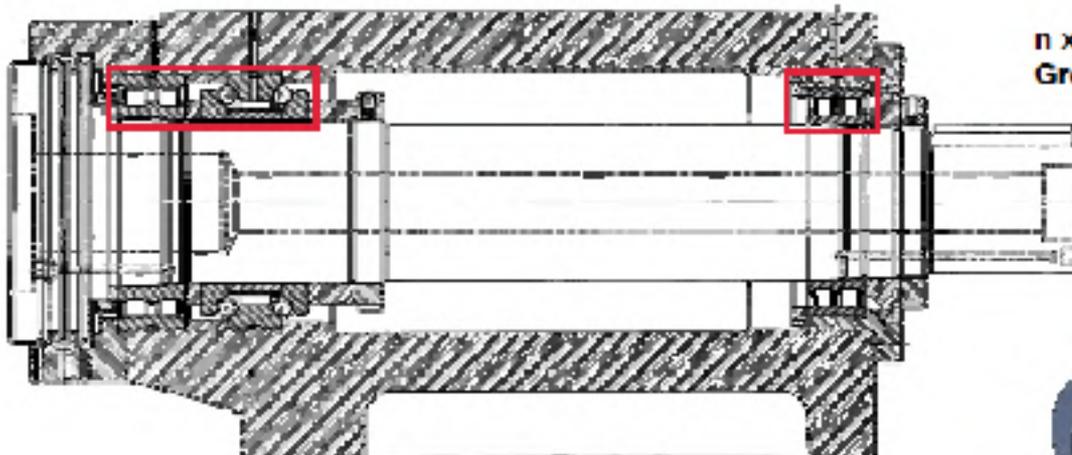
Elastically Preloaded Bearing Arrangements		Applications	Tendency
E1	< ~>	Motor spindle	
E2	<< ~>>	Motor spindle, milling, drilling	
E3	< ~> ~>	Motor spindle	
E4	<< ~> ~>	Work centre, milling, Drilling, motor spindle	
E5	<< ~>> ~>>		
EF1	< ~> 0	Motor spindle	
EF2	< ~> =		

Arreglos de Rodamientos en Husillos

FAG Application Know How Spindle Bearing Arrangements: Machining Centre



Rigid Preloaded Bearing Arrangement		Applications	Tendency
R1	<< >>	Milling spindle	
R1	== ⇄	Milling spindle	



$n \times d_m = 525\,000 \text{ mm/min.}$
Grease Lubrication

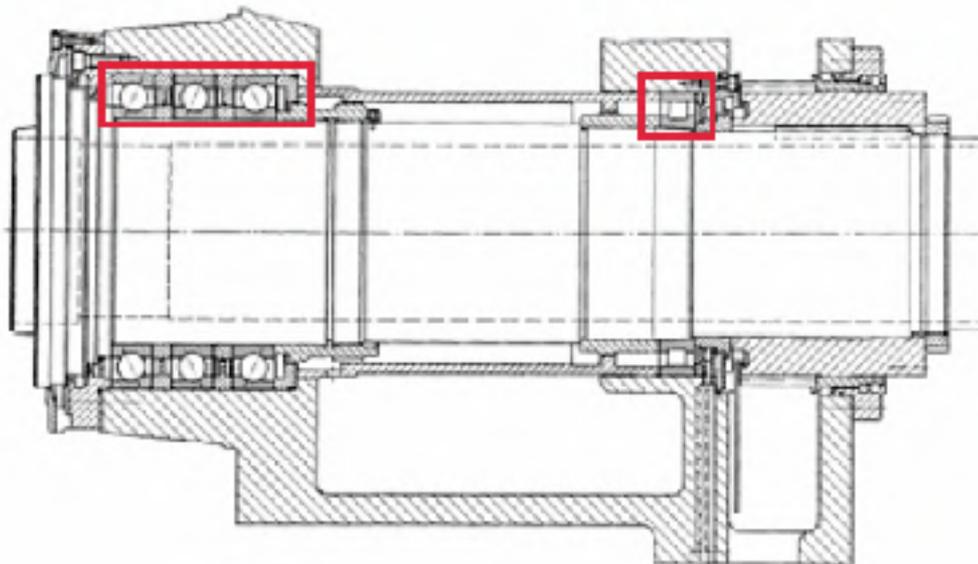


Arreglos de Rodamientos en Husillos

FAG Application Know How Spindle Bearing Arrangements: Machining Centre



Rigid Preloaded Bearing Arrangement		Applications	Tendency
R1	<< >>	Milling spindle	
RF5	<<> =	Turning spindle (Lathe)	



n x dm = 730 000 mm/min.
Grease Lubrication
HCB70..E.T.P4S.TUL
HCN10..K.M1.SP



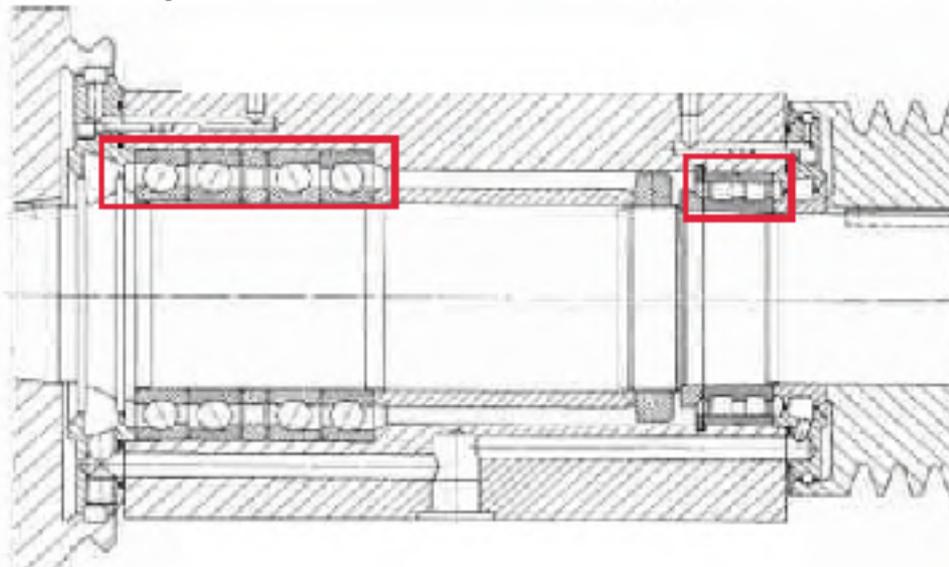
Arreglos de Rodamientos en Husillos

FAG Application Know How

Spindle Bearing Arrangements: Machining Centre



Rigid Preloaded Bearing Arrangement		Applications	Tendency
R1	<< >>	Milling spindle	
RF6	<< >> =	Grinding spindle	



$n \times d_m = 750\ 000\ \text{mm/min.}$
 Grease Lubrication
 HCB70..C.T.P45.QUL
 NN30..ASK.M.SP



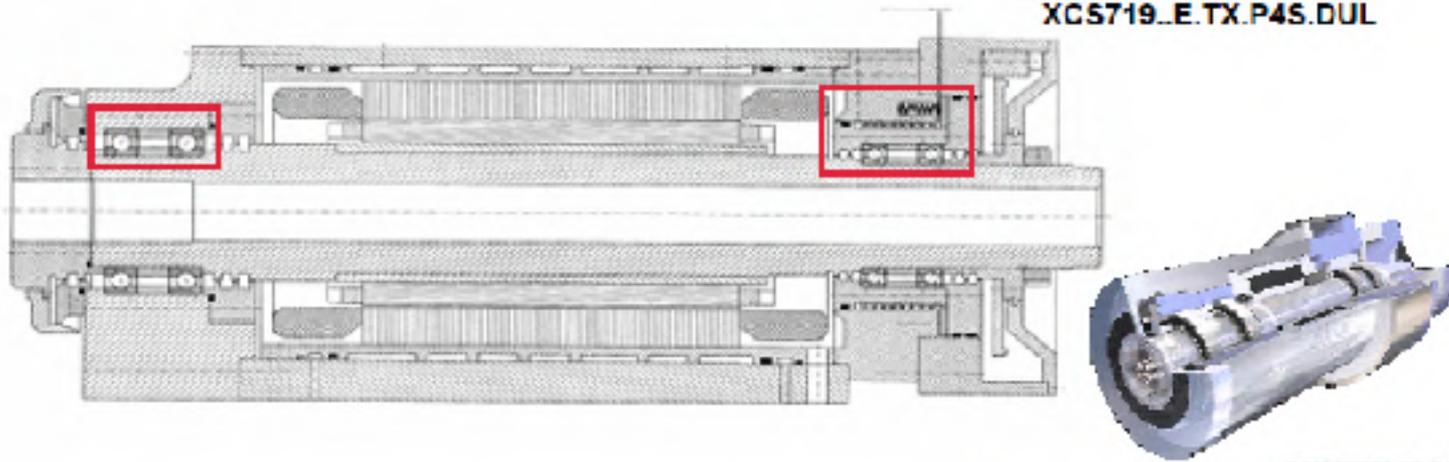
Arreglos de Rodamientos en Husillos

FAG Application Know How Spindle Bearing Arrangements: Machining Centre



Elastically Preloaded Bearing Arrangement		Applications	Tendency
E1	< ->	Motor spindle	
E2	<< ->>	Motor spindle	

$n \times d_m = 2.16 \times 10^6 \text{ mm/min.}$
 Grease Lubrication
 XCS719..E.TX.P4S.DUL
 XCS719..E.TX.P4S.DUL



Montaje de Rodamientos en Husillos

GUIA PARA BASICA DE MONTAJE

1. Limpie el área de trabajo y manténgala limpia.
2. Utilice herramientas libres de rebaba diseñadas para este tipo de trabajo. No deben ser pintadas o cromarse.
3. Maneje los rodamientos con guantes o manos limpias y secas. Utilice pinzas para rodamientos miniatura.
4. Saque los rodamientos nuevos de su empaque original, inmediatamente antes de la instalación.
5. Proteja los rodamientos abiertos, manteniéndolos cubiertos todo el tiempo.



GUIA PARA BASICA DE MONTAJE

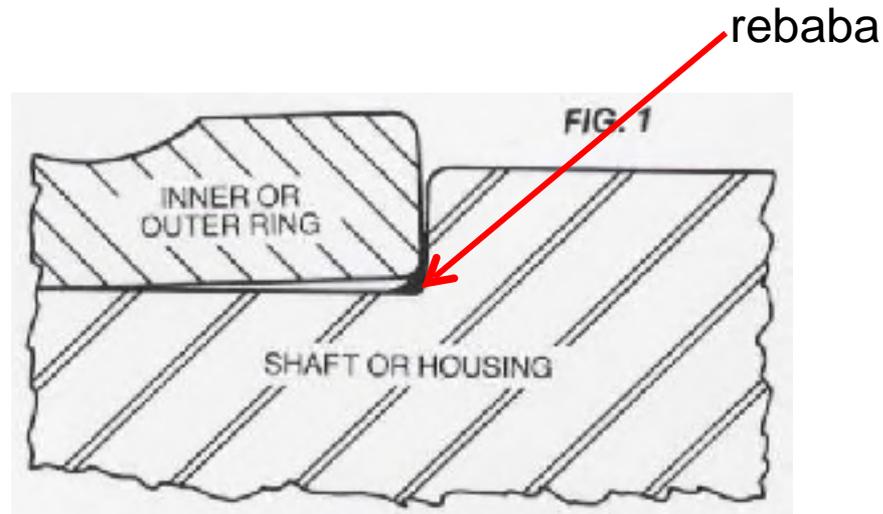
6. Utilice lubricantes especiales para los rodamientos, manteniéndolos limpios durante el uso y los envases incluidos entre las aplicaciones.

Para los rodamientos engrasados, aplique solamente la cantidad apropiada de grasa con un aplicador limpio.

Antes de aplicar la grasa a los rodamientos, consulta nuestro departamento de la ingeniería para la compatibilidad del lubricante.

GUIA PARA BASICA DE MONTAJE

7. Monte solo las piezas libres de rebaba y limpias. Cerciúrese de que el lugar donde el rodamiento va a quedar asentado en el eje y el alojamiento, estén limpios.



La rebaba o suciedad en la cubierta del alojamiento y el eje son una de las causas más frecuentes del desalineamiento del rodamiento.

Herramental recomendado



HOOK SPANNERS
For disassembly and
re-assembly of components.



INDUCTION HEATER
Heat expands inner ring for
fitting onto shaft.



OPEN END WRENCHES
Always use unplated tools.



RUN IN STAND
For testing spindle performance.



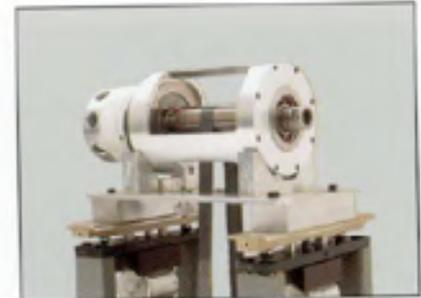
DRIFTS
Facilitate ring installation.



VIBRATION ANALYZER
Portable diagnostic tool.



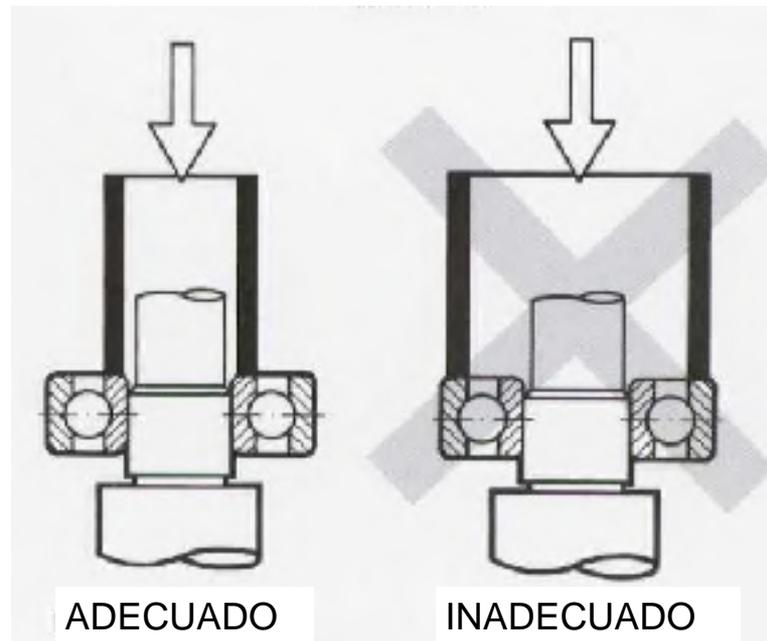
GAGES AND GAGE BLOCKS
Accurate to .0001".



BALANCER
Weight distribution analysis.

GUIA PARA BASICA DE MONTAJE

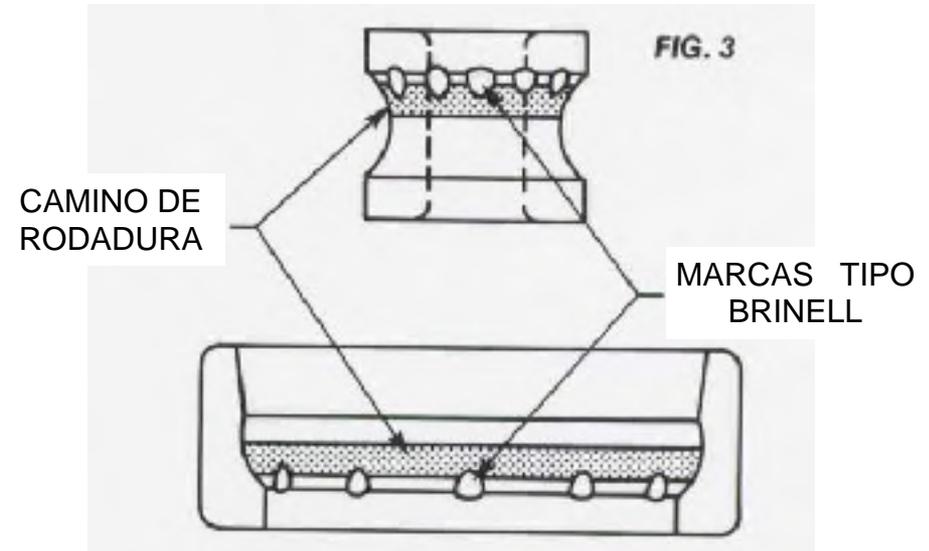
8. Para los ajustes de interferencia, utilice un calentador por Inducción (expansión térmica) o a una prensa mecánica. Nunca utilice un martillo o un destornillador y nunca aplique golpes directos al rodamiento.



Procedimiento de montaje mecánico

GUIA PARA BASICA DE MONTAJE

9. Aplique la fuerza al aro que va a ser montado. Solo en caso de necesidad puede montarse un rodamiento con ligeros golpes de martillo con ayuda de un punzón blando de cara plana. Nunca empuje el aro exterior para forzar el aro interior sobre un eje, o causar un alto esfuerzo de torsión y por tanto una operación ruidosa. La aplicación de la presión sobre el aro interior para forzar el aro exterior en la cubierta, también dañará los caminos de rodadura del rodamiento de bolas.



Forma inapropiada de montar los rodamientos resultarán en pequeñas indentaciones en los caminos de rodadura

Prácticas no recomendadas

Precision ball bearings will not perform as designed — or at all, in some cases — if they are mishandled or improperly installed. Practices to be avoided are illustrated below. If you have questions about the proper use or installation of Barden precision bearings contact your nearest authorized Barden distributor or Barden representative.



Don't open bearing pouch until ready to assemble components.



Don't wash new bearings. They are factory cleaned and lubricated.



Don't use a hammer or screwdriver to install bearings. Never drop bearings.



Don't over lubricate or mix different lubricant families.



Don't smoke, eat or drink while handling or installing bearings.



Don't wipe parts dry with a rag, or lint could be introduced into the bearing.



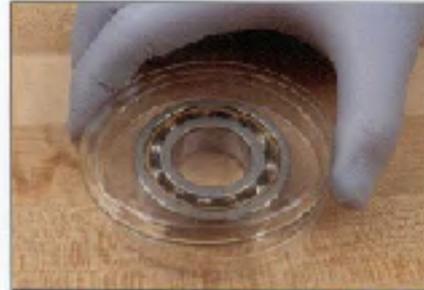
Don't spin bearings with compressed air. Internal damage could result.

Practicas Recomendadas

Observing a few simple precautions will help bearings attain their full and useful working life. It is particularly important to remember to keep bearings in their original pouch until ready to install. Bearing nomenclature is clearly marked on all boxes, so there is no need to open boxes to identify bearings. Other tips include:



Open package with scissors. Handle only with clean, dry hands or gloves.



Protect unwrapped bearings by keeping them covered at all times.



Align high point mark on ring 180° from high point of shaft.



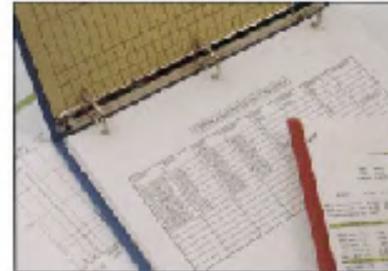
Use an induction heater for assembly (or arbor press for interference fits).



Use clean, burr-free tools that are not plated, painted or rusted.



Use tweezers to install miniature and instrument bearings.



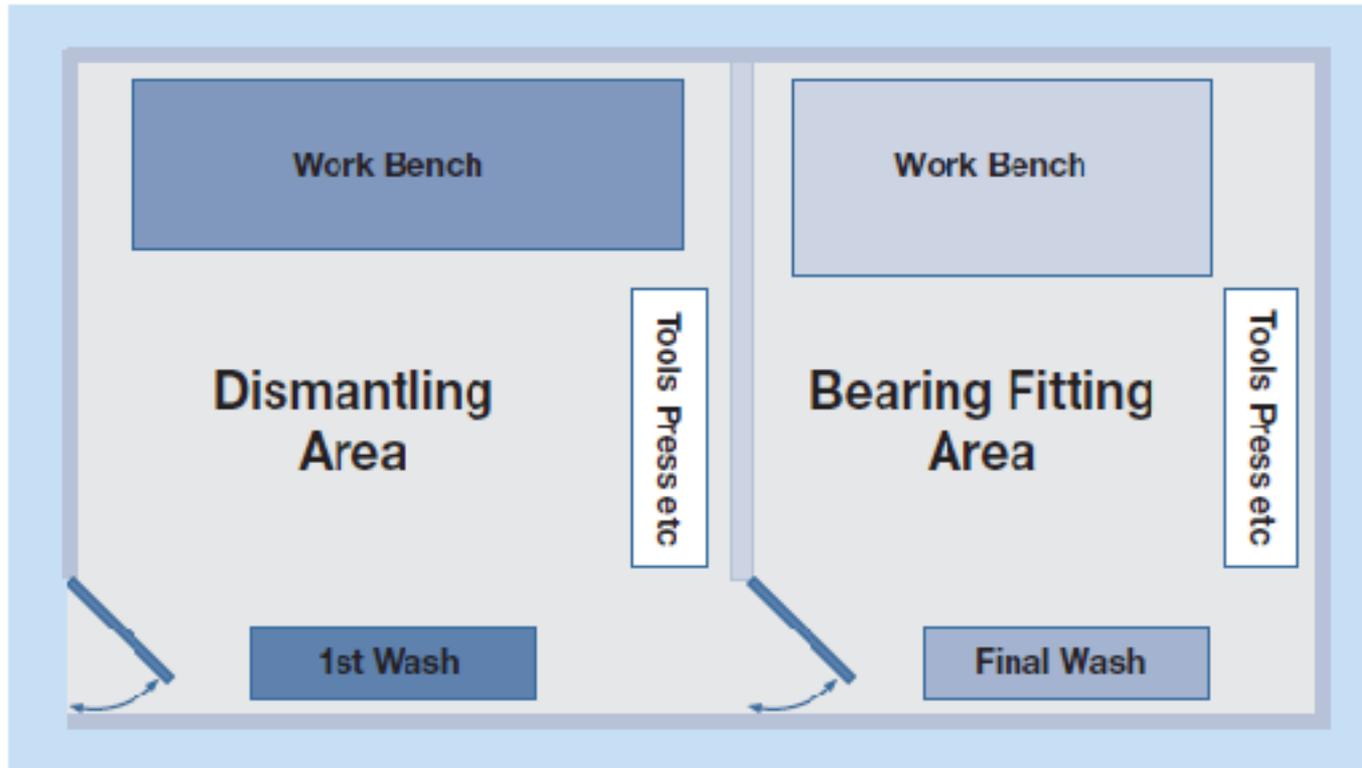
Keep maintenance logs and record bearing nomenclature from box.



Keep mounting arrangements and blueprints on file for future reference.

6

Ideal Spindle Room



CONTAMINATION

Relative size. 1 μm = 0.001mm



OIL FILM
0.4 μm

TOBACCO SMOKE
2.5 μm

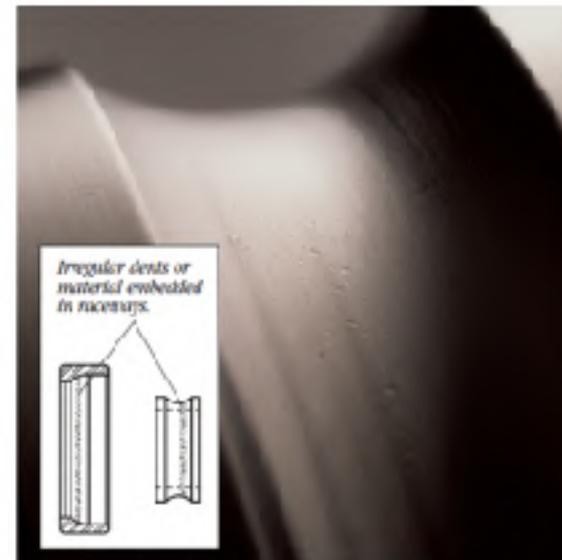
INDUSTRIAL SMOKE
6.4 μm

FINGER PRINT
13 μm

DUST PARTICLE
25 μm

HUMAN HAIR
76 μm

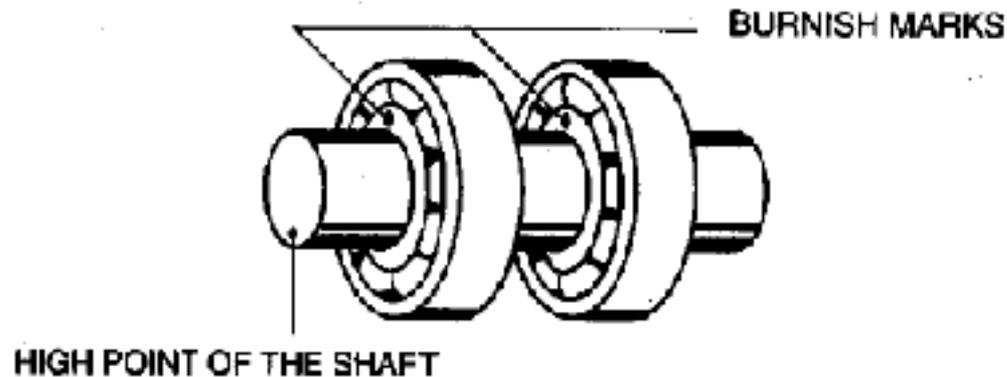
Comparison of relative sizes of typical contaminants. Oil film under boundary lubrication conditions is only 0.4 micrometers thick, and can be easily penetrated by even a single particle of tobacco smoke.



Sometimes, as shown here, the effects of contamination are hardly visible.

MONTAJE

En el montaje de los pares en dúplex se debe tomar en cuenta las marcas que indican el **punto alto de variación radial (*run-out*)**, las cuales deben ser colocadas en línea y opuestas a la marca del punto alto de variación radial de la husillo, con el fin de tener la **menor variación radial** posible en el mismo.

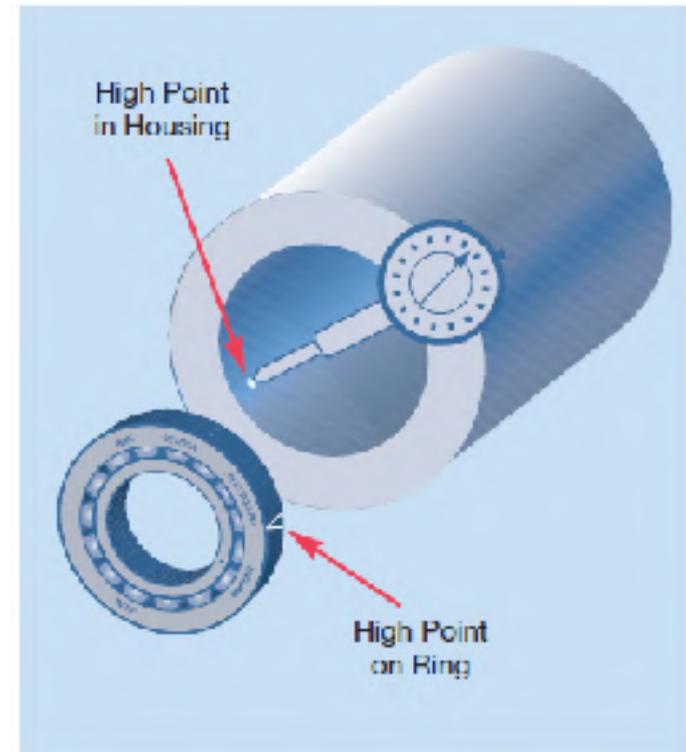
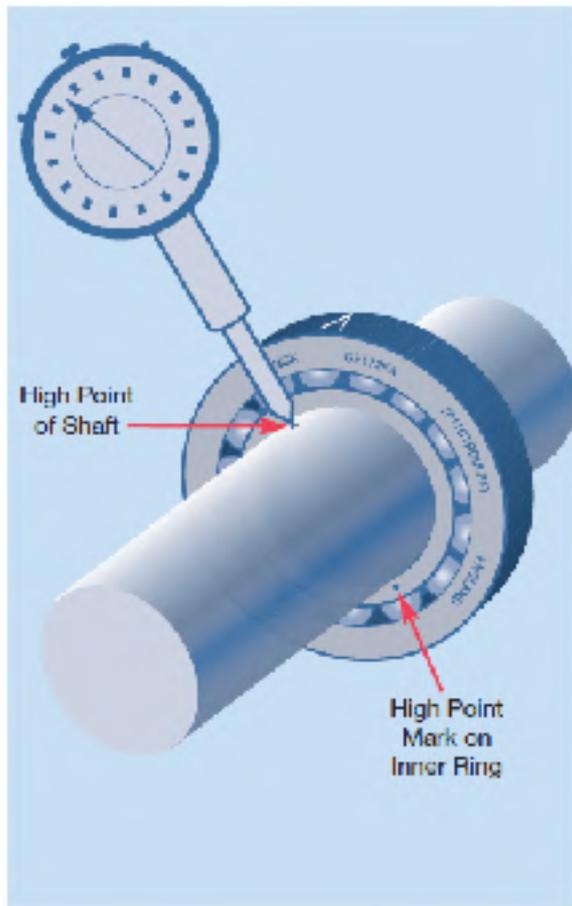


Forma apropiada de montar los rodamientos de acuerdo con el **punto alto de excentricidad** marcado en los aros.

[Montaje](#)

How to use High Point Marking

Optimum running accuracy is achieved when the bearing is mounted so that the ring high points are directly opposite (180°) to the high points on the housing and shaft.



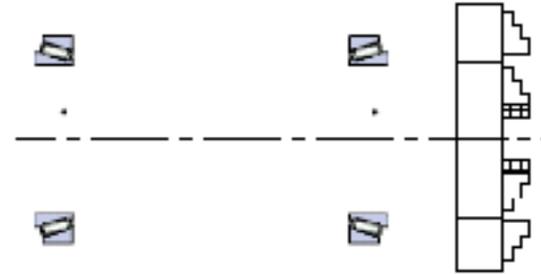
High Points of Runout

The correct use of the high point of runout etched on the bearing components allows the accuracy of the spindle to be optimized. The components should be mounted in the housing and on the spindle so that the high points are aligned with each other. In other words, the inner ring is fitted on the spindle so the high point of the rear ring is aligned with the high point of the nose bearing. Similarly, the high points of the outer ring are aligned in the housing.

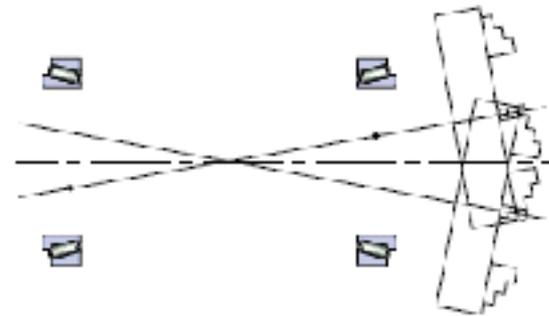
To obtain maximum precision, and when the high points of runout of both the spindle and the housing are known, the respective high points of the bearing components should be 180 degrees opposite to those of the spindle and the housing.

This will tend to neutralize the eccentricity and minimize the effect of the high spots of all components. The figures to the right show typical examples of the correct and incorrect use of the high point of runout of bearings.

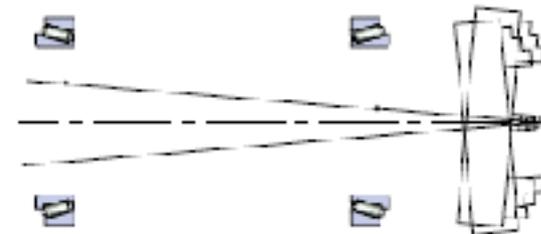
The greatest accuracy can be provided by grinding the spindle nose after the bearings are installed. This procedure will produce spindle runout considerably smaller than the bearing runout.



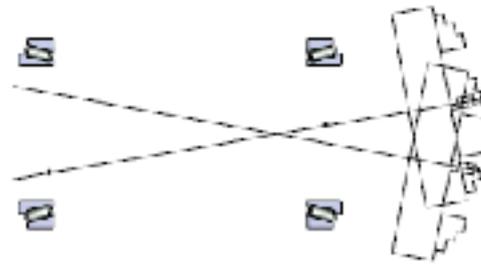
Correct: high points of runout in line



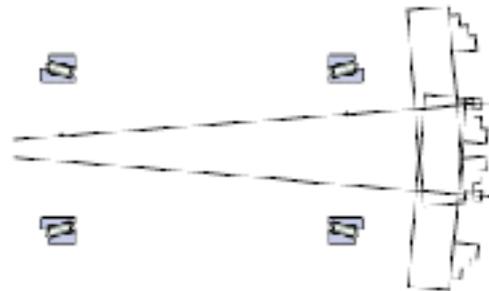
Incorrect: high points of runout not in line



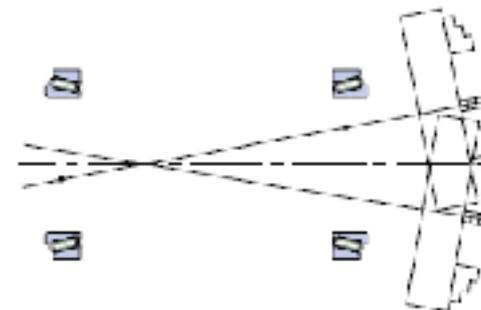
Correct: bearing having largest runout at rear. High points of runout in line



**⊗ Incorrect: bearing having largest runout at rear.
High points of runout not in line**

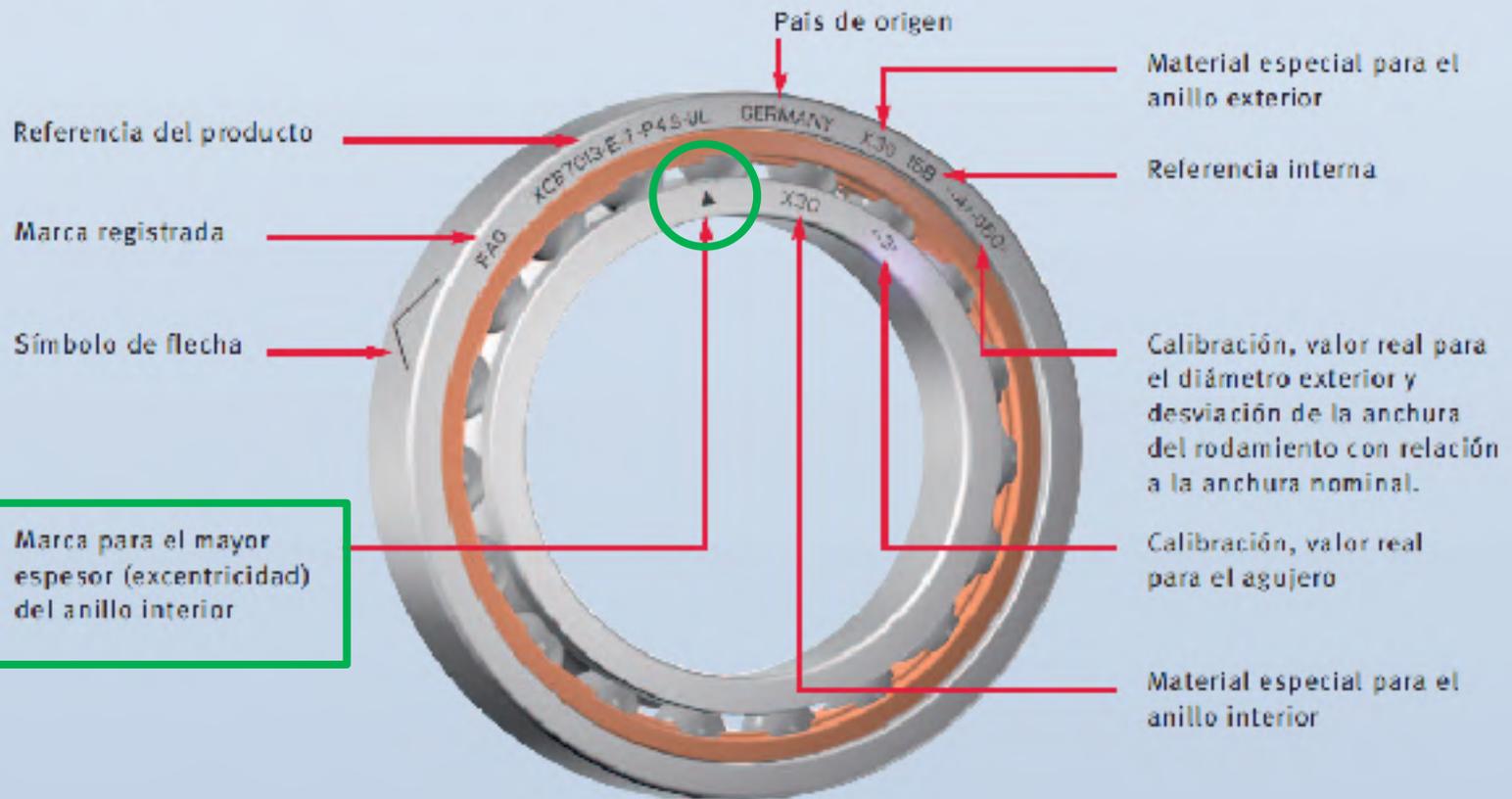


**⊗ Incorrect: bearing having largest runout at nose.
High points of runout in line**



**⊗ Incorrect: bearing having largest runout at nose.
High points of runout not in line**

Rodamientos FAG para husillos en ejecución no obturada



Instrucciones de montaje

Manipulación de los rodamientos de superprecisión

Los rodamientos FAG de super - precisión están fabricados bajo condiciones de la máxima limpieza, verificados exhaustivamente y protegidos por un embalaje de alta calidad. Con objeto de conservar la totalidad de la capacidad de rendimiento de los *rodamientos*, *estos deben ser manipulados con gran cuidado durante el montaje*. Para ello, **una sala de montaje separada y muy limpia ofrece las mejores condiciones**. El montaje se puede planificar dentro del proceso de disponibilidad y adjudicación de las piezas.

Preparación de las piezas

Para el montaje únicamente deben utilizarse componentes verificados y homologados. En función del componente, el proceso de homologación consiste en una **verificación dimensional**, una **inspección óptica** o, incluso, en un **balanceo previo**.



En el montaje del rodamiento sobre el eje o en el alojamiento, en ningún caso deben conducirse las fuerzas de montaje a través de los elementos rodantes.

El mejor método es *calentar las piezas que deben montarse con ajuste con interferencia* (ajuste forzado), antes del montaje.

Esto puede efectuarse de forma sencilla, rápida y limpia mediante un **dispositivo de calentamiento por inducción** (ver figura 3). Los valores para el **apriete axial de los rodamientos sobre el eje mediante una tuerca estriada de precisión** se indican en las tablas 4 y 5. Para evitar o reducir los efectos de asentamiento, se deberá apretar

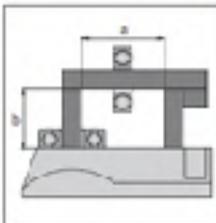
inicialmente **la tuerca con un par de apriete tres veces el indicado**, aflojar la tuerca y después apretarla finalmente con el par nominal.



3: Calentamiento de un rodamiento para husillos mediante un dispositivo de calentamiento por inducción

Instrucciones de montaje

FIS Servicio de montaje

Calentadores		HEATER10	HEATER20	HEATER35	HEATER50
    					
Consumo de potencia					
max. ¹⁾		2,3 kVA	3,6 kVA	3,6 kVA	12,8 kVA
Voltaje/frecuencia ²⁾		230 V/50 Hz	230 V/50 Hz	230 V/50 Hz	400 V/50 Hz
Corriente nominal		10 A	16 A	16 A	32 A
Peso					
		7 kg	17 kg	31 kg	51 kg
Longitud					
		230 mm	365 mm	470 mm	505 mm
Anchura					
		200 mm	200 mm	260 mm	260 mm
Altura					
		240 mm	240 mm	365 mm	440 mm
Medida a					
		65 mm	120 mm	100 mm	210 mm
Medida h					
		95 mm	100 mm	160 mm	210 mm
Travesaños (incl.) para piezas con agujero mín.					
		20/45/65 mm (pieza escalonada)	20 mm 35 mm 60 mm	70 mm	100 mm
Travesaños (accesorios) para piezas con agujero mín.					
		10 mm 15 mm 35 mm	10 mm 15 mm 45 mm	15 mm 20 mm 45 mm 60 mm	20 mm 30 mm 60 mm 70 mm 85 mm

¹⁾ El valor máximo de la potencia de consumo.

²⁾ Sobre contacto, el voltaje de los calentadores es 230 V y 400 V, respectivamente, así como sus corrientes nominales.

200 Calentadores por hora/mín.

Procesos de adaptación

Con objeto de alcanzar el óptimo rendimiento o de obtener una exacta posición del husillo con relación al alojamiento, puede ser necesario efectuar adaptaciones especiales.

Esto se refiere, por ejemplo, a la tapa que sirve de fijación axial del rodamiento en el alojamiento.

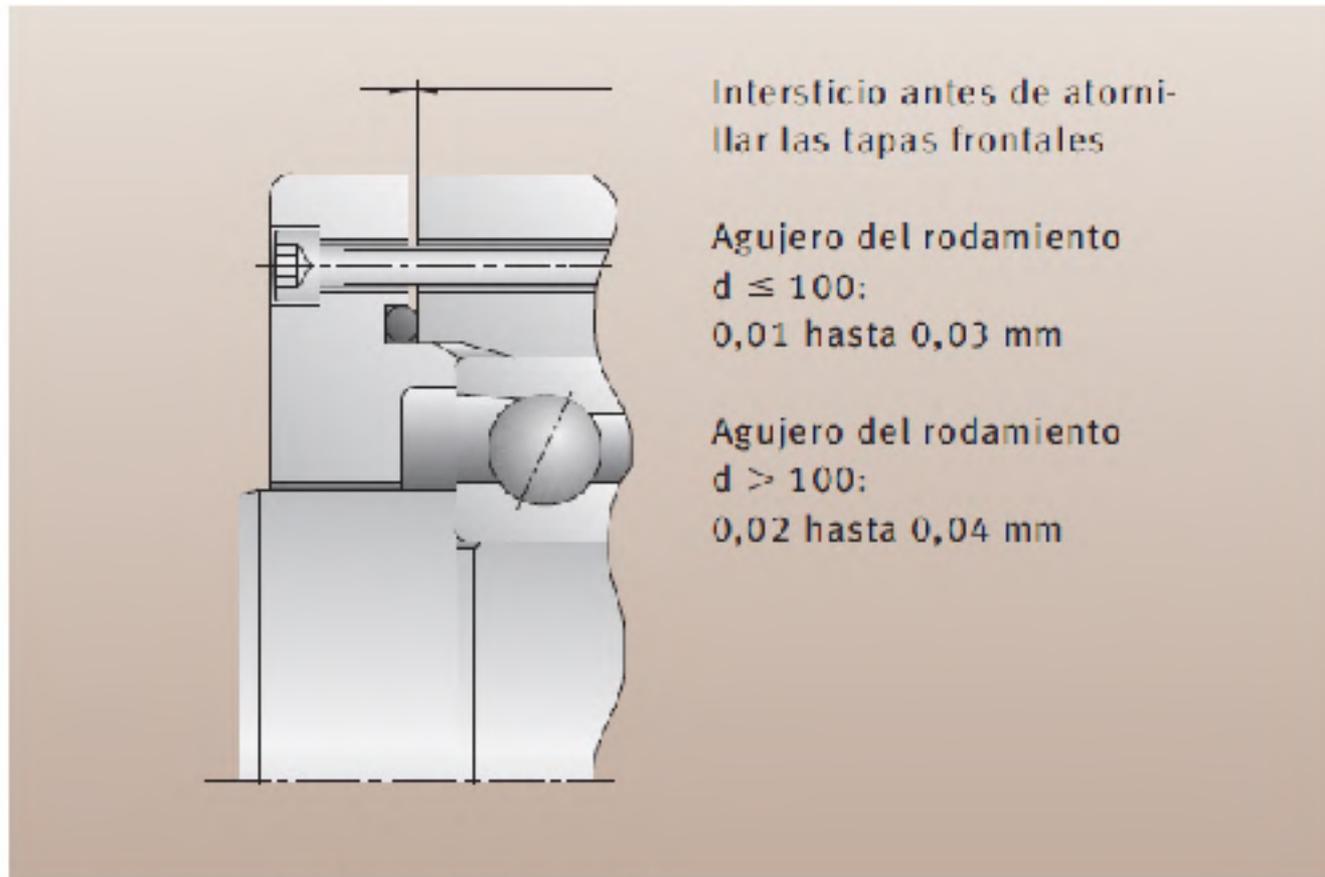
Antes de ajustar dicha tapa, debe *existir un intersticio* (ver figura 2)

Para husillos de alta velocidad, puede ser adecuada la disposición de anillos separadores, con objeto de compensar la influencia del ajuste y la expansión del anillo sobre la precarga.

Grasas lubricantes

Los rodamientos FAG de super - precisión están conservados de tal manera que **no es necesario proceder a su lavado antes de engrasarlos.**

La cantidad inicial de llenado de grasa puede obtenerse de *la tabla 4, en la pagina 179. El engrase debe llevarse a cabo únicamente bajo condiciones de máxima limpieza. La dosificación de la cantidad de grasa es sumamente importante* para los dispositivos de engrase y de medición utilizados. Es ideal la utilización de rodamientos que hayan sido engrasados y obturados por el Grupo Schaeffler.



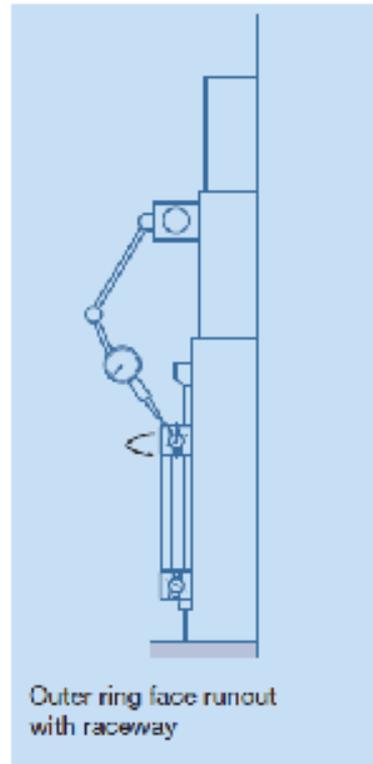
2: Ajustes recomendados para las tapas frontales

Agujero/ Número característico del agujero	Fuerza de apriete				Par de apriete				Rosca
	718	719	70	72	718	719	70	72	
	kN				Nm				
6			1,49				1,52		M6x0,5
7			1,51				1,70		M7x0,5
8			1,53				1,85		M8x0,75
9			1,55				2,05		M9x0,75
09	0,81	0,66	1,58	1,36	1,18	0,96	2,30	1,99	M10x0,75
01	0,85	0,71	1,64	1,45	1,42	1,19	2,75	2,43	M12x1
02	0,82	0,79	1,75	1,60	1,85	1,68	3,57	3,23	M15x1
03	0,97	0,86	1,84	1,73	2,17	1,93	4,11	3,87	M17x1
04	1,06	0,99	1,99	1,96	2,74	2,54	5,17	5,04	M20x1
05	1,25	1,24	2,32	2,45	3,91	3,87	7,21	7,65	M25x1,5
06	1,48	1,55	2,73	3,01	5,44	5,69	10,0	11,1	M30x1,5
07	1,75	1,91	3,22	3,83	7,39	8,18	13,4	16,3	M35x1,5
08	2,05	2,34	3,79	4,74	9,82	11,2	18,2	22,7	M40x1,5
09	2,39	2,82	4,45	5,79	12,8	15,1	23,8	31,0	M45x1,5
10	2,78	3,36	5,19	7,00	16,4	15,8	30,6	41,3	M50x1,5
11	3,30	3,96	5,02	8,36	20,6	25,6	38,9	54,0	M55x2
12	3,65	4,42	5,64	9,88	25,6	31,4	48,6	69,3	M60x2
13	4,15	5,34	7,64	11,4	31,4	40,4	60,1	87,5	M65x2
14	4,60	6,12	9,04	13,4	38,0	45,7	73,4	102	M70x2
15	5,25	6,95	10,2	15,4	45,6	60,3	88,7	134	M75x2
16	5,86	7,85	11,5	17,4	54,1	71,4	106	164	M80x2
17	6,51	8,81	12,9	20,0	63,7	84,2	126	195	M85x2
18	7,19	9,82	14,3	22,5	74,3	102	148	233	M90x2
19	7,91	10,9	15,9	25,2	86,1	119	173	273	M95x2
20	8,66	12,0	17,5	28,1	99,2	138	201	322	M100x2
21	9,44	13,7	19,3	31,7	114	155	231	374	M105x2
22	10,3	14,5	21,1	34,4	130	182	265	431	M110x2
24	12,1	17,2	25,0	41,5	165	215	342	567	M120x2
26	14,9	20,1	29,4	49,3	206	257	434	729	M130x2
28	18,0	25,1	33,1	57,9	255	320	543	973	M140x2
30	18,2	26,7	39,1	67,3	310	454	666	1.144	M150x2
32	20,6	30,4	44,6	77,4	373	550	808	1.402	M160x3
34	23,1	34,3	50,5	88,4	444	659	971	1.699	M170x3
36	25,7	38,4	55,8	100,2	523	781	1.154	2.036	M180x3
38	28,5	42,8	61,4	112,7	611	918	1.360	2.417	M190x3
40	31,4	47,4	70,5	126,2	708	1.070	1.589	2.845	M200x3
44	37,7	57,5	85,8	155,5	833	1.425	2.125	3.853	T220x4
48	44,5	68,4	105		1201	1.847	2.773		T240x4
52		80,4				2.189			T260x4
56		93,4				2.935			T280x4
60		107				3.412			T300x4
64		122				4.387			T320x5
68		138				5.266			T340x5
72		155				6.755			T360x5
84		312				9.857			T430x5
92		255				12.102			T460x5
500		302				16.855			T500x5

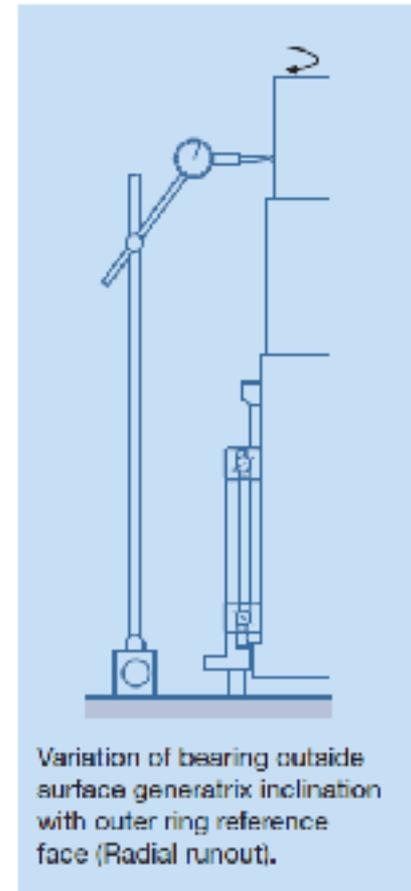
Chequeos adicionales al final del ensamble

Spindle Checks

It is beneficial to check the spindle at each stage of the assembly process. After fitting the front bearings and clamping the locknut check spindle radial runout as shown. A target runout value of less than $2\mu\text{m}$ is recommended, however if application speeds are low, values up to $5\mu\text{m}$ are acceptable. Tapping gently on the outer ring end face can help to adjust the runout. Using the end cover and a steel ring to support the spindle on the outer ring face, the spindle can be rotated and a runout reference taken on the shaft. This should be targeted to below $5\mu\text{m}$.



Inaccuracies in the locknut can cause the shaft and bearing to bend when tightened. The tip below shows one method to reduce this effect.



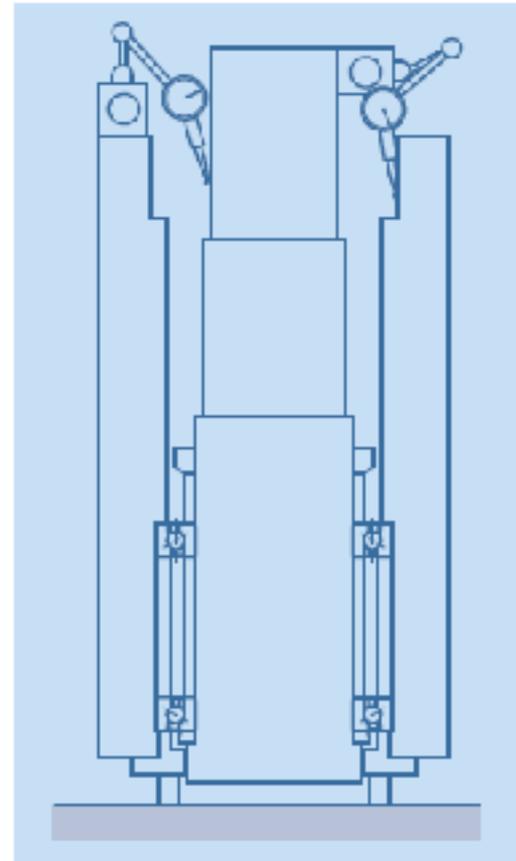
Chequeos adicionales al final del ensamble

Housing Concentricity

The concentricity of the rear bearing housing can be measured as shown on the right. This value should be less than $10\mu\text{m}$, ideally target $5\mu\text{m}$.

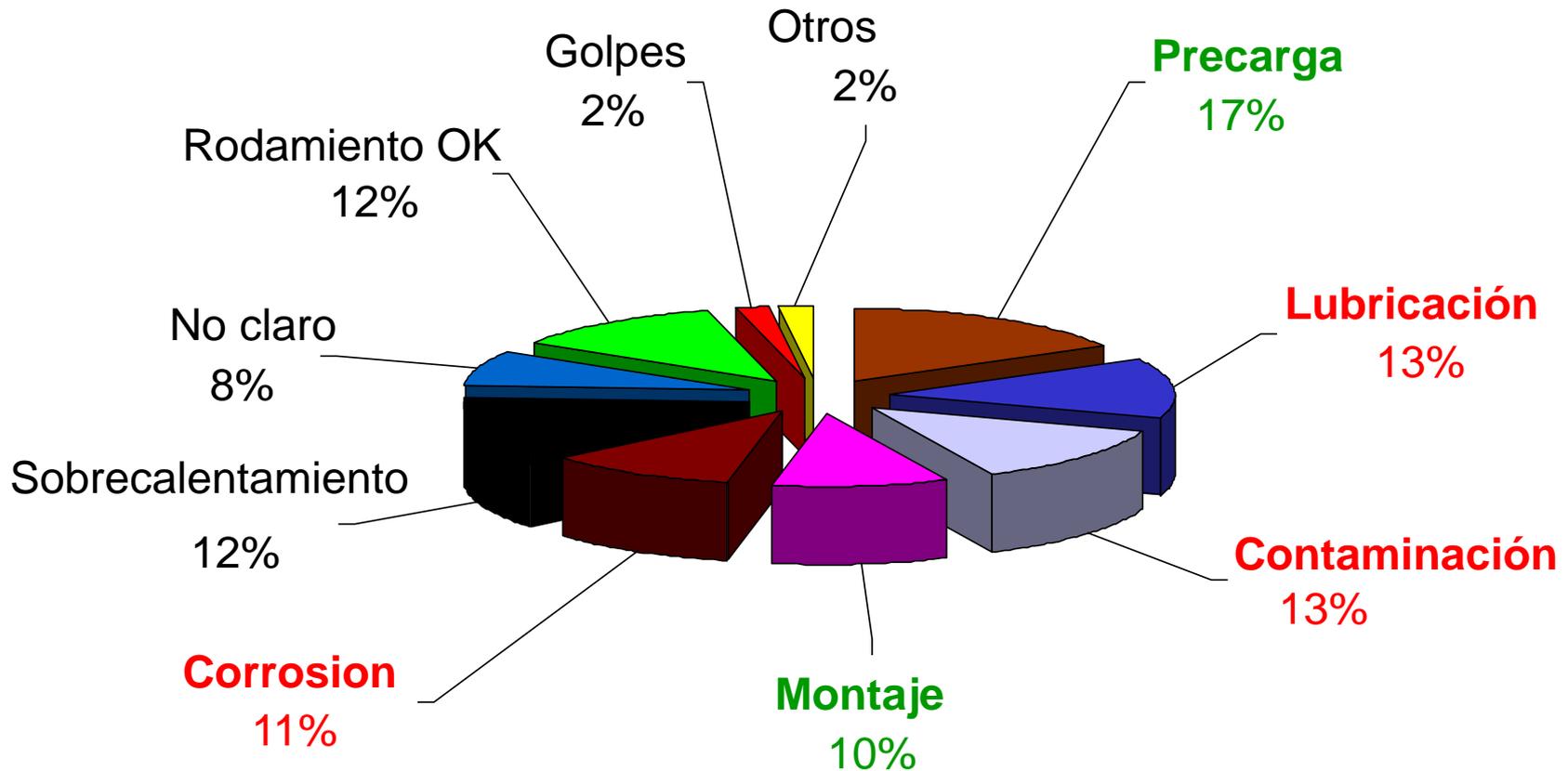
Final runout checks should be conducted on the fully assembled spindle both radially and axially at the nose and radially at the rear. Target runout values should be no greater than $5\mu\text{m}$.

1 to $2\mu\text{m}$ is typical for high-speed spindles.



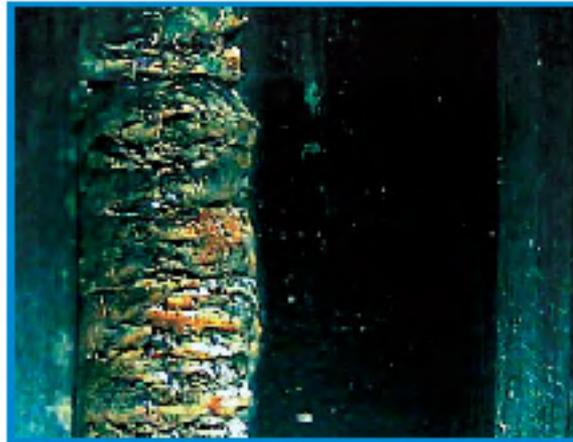
Análisis de Fallas en Rodamientos de Superprecisión

Porque fallan los Rodamientos de Husillos?



Falla de Rodamientos

- Las razones mas importantes de fallas de rodamientos
 - Contaminación
 - Lubricación
 - Precarga
 - Desalineamientos
- La capacidad de carga no es un factor relevante !!
- Los cálculos de vida ajustada no cubren todas las causas de falla !!

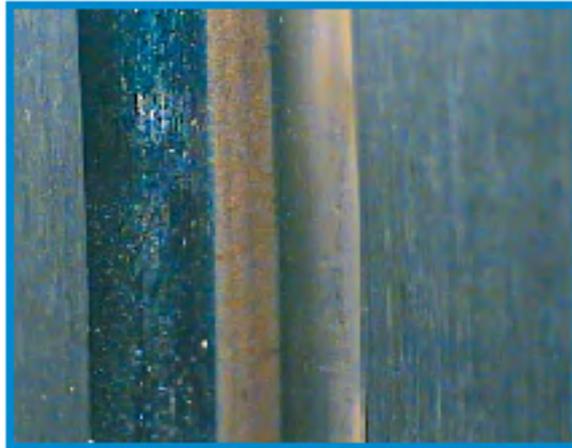


EXCESSIVE LOADS

Excessive loading of the bearings demonstrates itself in many ways. The first is for a wide contact tracking band that may be discoloured by the heat generated, the second is fatigue spalling developing around microscopic pits and scratches in the raceway and the third is spalling starting from inclusions within the material body.

The first will generate in to the second and the resultant spalling will develop as shown on the ring. Spalling originating from inclusions will also develop around the ring and they could also appear as shown. Whatever the beginning, the life of the bearing will be short.

The problem can be resolved by reducing the external loads or by using bearings with a higher load capacity.



OVERHEATING

Overheated rings and balls display colouring that varies from golden yellow through to blue.

Overheating occurs because there is an application problem, because the bearing is overloaded, because the lubrication is not good enough or because there is no way the heat developed within the bearing can escape.

If the bearing runs at temperatures in excess of the tempering temperature for any period of time not only will they begin to discolour they will begin to soften and eventually become misshapen. Bearing fatigue life will be reduced.

The most common cause for this problem is related to lubrication. As shown, the ball tracks are discoloured brown indicating that the track surface has been in excess of 200°C. At this temperature the lubrication will be poor if not destroyed. This leads to more heat generation and eventual premature failure.

To control this problem, confirm that the lubrication is adequate for the operating conditions (loads, rotational speeds and temperature) and try to ensure a good heat path away from the bearing.

BRINELLING

When a bearing is subjected to very high loads (it is not important if they are applied gradually or are impact loads) and the contact stresses are in excess of the elastic limit, indentations are formed. This is Brinelling.

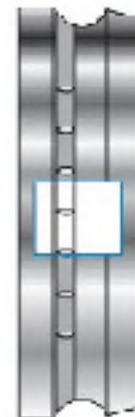
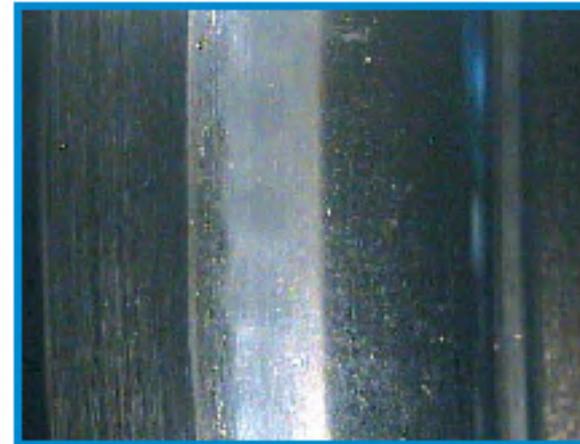
Brinelling can appear as discrete indents if the bearing has not rotated or as high wear if the bearing has been running during the time of the high loading.

Brinelling of a bearing is often first noted by high noise levels.

The most common causes of Brinelling are:

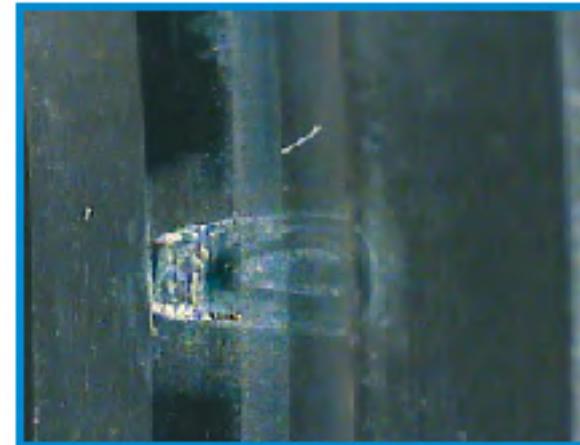
- Assembly and / or disassembly using inappropriate tools (e.g. hammer).
- Accidentally dropping previously assembled components.
- Incorrect assembly and / or disassembly procedures.

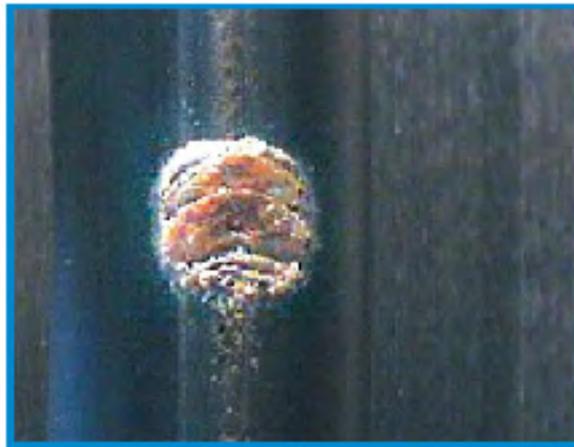
Never assemble bearings onto the shaft by applying pressure to the external ring, but rather ensure that pressure is applied directly to the internal ring. This prevents the balls and the rings from being subjected to excessive static loads.



FALSE BRINELLING

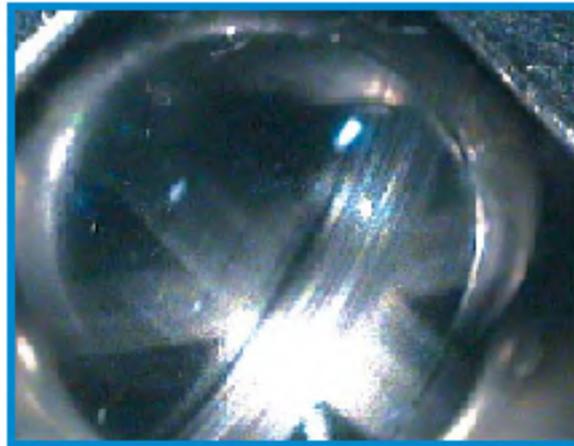
False Brinelling resembles brinelling but it is generated differently. When the static bearing is vibrated the ball/track contacts begin to suffer fretting corrosion. The products of this mechanism are abrasive so they tend to accelerate the process. As the bearing is static any lubricant present is ineffective. To stop this happening there is a need to lock together the shaft and housing to prevent relative movement or fully isolate the part from the vibration source.





FATIGUE

Fatigue-related failure takes the form of spalling of the raceway surface. It generates either from the surface where there are high contact stresses around microscopic pits or scratches or from below the surface where stress concentrations occur around inclusions, leading to crack propagation. Fatigue spalling usually propagates gradually during operation and is evident on both the inner and outer rings as well as the balls. The problem is usually detected through increased vibration and noise levels.

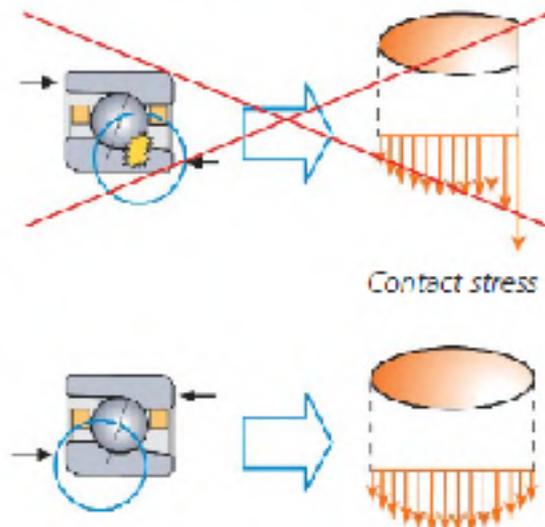


REVERSE LOADING

Angular ball bearings are designed to support axial loads that act in one direction only. If a reverse load is applied the contact area between the ball and the outer ring moves towards the non-thrust side which has a lower shoulder height. The result is that the ball/raceway contact ellipse becomes truncated resulting in high contact stresses and rapid failure.

Not all reverse load situations result in the bearing actually attempting to take thrust in the wrong direction. Most often the reverse load is sufficient to overcome the preload. This is termed off-loading. When this occurs the balls are allowed to spin and take up another preferred axis of rotation and hence develop another tracking pattern.

Where complete reverse loading occurs the signs of damage will be excessive bearing noise and poor spindle operation. This may be confused with other failure causes, however, on disassembly and inspection of the balls, a deep line will be witnessed in the tracking band (caused by running over the shoulder) and the track/smaller shoulder corner radius of the bearing ring will be damaged.



CONTAMINATION

Contamination can be one of the main reasons for bearing rejection. The presence of particles in the bearing leads to indentations in the raceway as the balls roll over them. These indentations then increase the general noise level of the bearing. The indentations also act as stress raisers from which fatigue spalls can generate. Wear rates, and all that that brings with it, are enhanced.

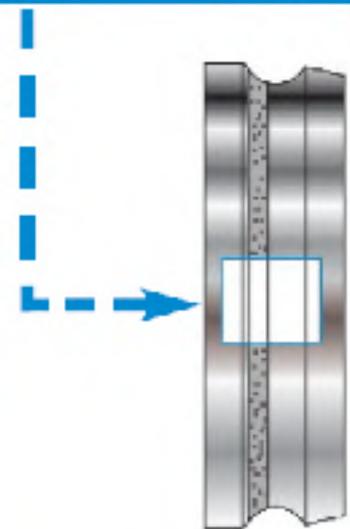
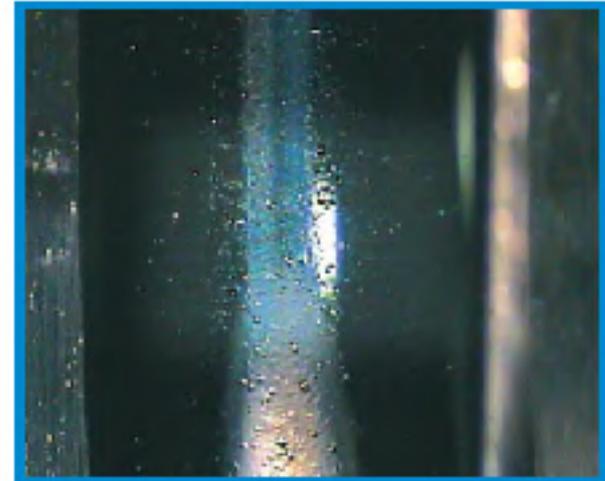
Contaminants may include:

- Dust that is blown in by the air supply,
- Machining debris left behind after spindle or housing manufacture,
- Abrasive particles from grinding wheels etc normally found in a workshop.

Typically, bearings may be contaminated if the person handling them has dirty hands or uses dirty tools, or if they are located in dirty surroundings, or indeed if contaminated lubricants and washing liquids are used.

It is good practice to provide assembly areas away from any machines and preferably in an area that is enclosed with a controlled atmosphere. Bearings should be stored in their original packaging until they are needed. Should bearings need to be washed prior to fitting or greasing, then well filtered liquids must be used.

Seals play a significant role in preventing bearing contamination, and should always be damage free and hence effective.

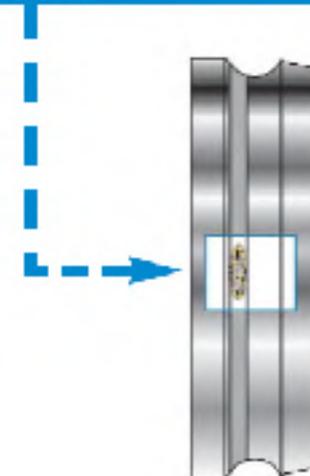


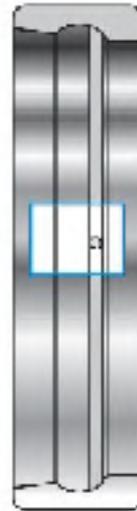
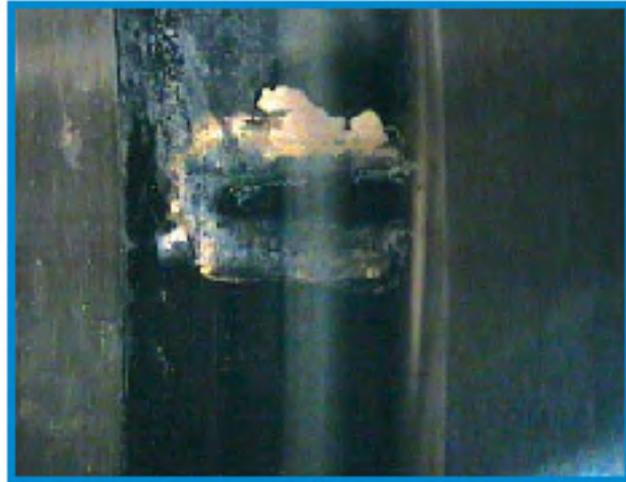
LUBRICATION

Tracking bands on rings and balls that are discoloured blue or brown are a good sign of lubrication problems. This happens because the lubricant film has been unable to maintain sufficient thickness to prevent surface to surface contact. Lubrication failure could mean that it is wrong for the application or that the supply is marginal and hence a full film can not develop. It is necessary to always ensure that the specified lubricant, delivery system and quantity is correct for the application.

A matt tracking band indicates that wear is taking place but there is no significant heating. This will progress very slowly to rejection. If the tracking bands are discoloured then the heat build up is more significant and the rejection will happen earlier. Diagnosis may be difficult as only a small part of the machine's duty cycle may cause the problem. It is therefore necessary to look at the worst case and decide if it is significant. Bearing failure caused by lubrication problems can be dramatic. The cage can burn or melt and the track becomes red hot and material deformed and pushed out of the way by the passing balls. When rotation stops, the balls which are likely to be completely misshapen, become welded to the raceway.

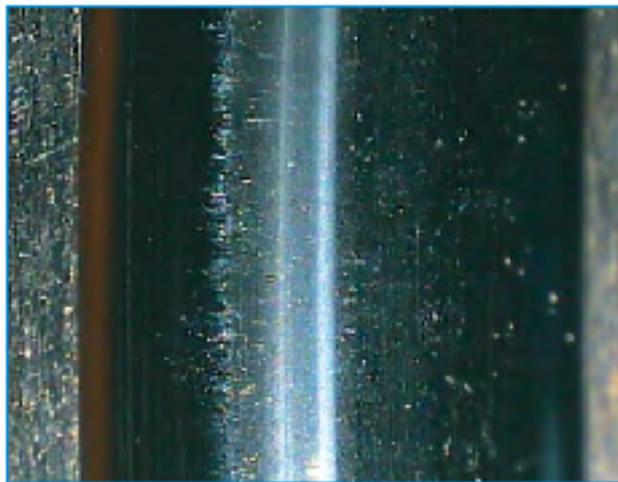
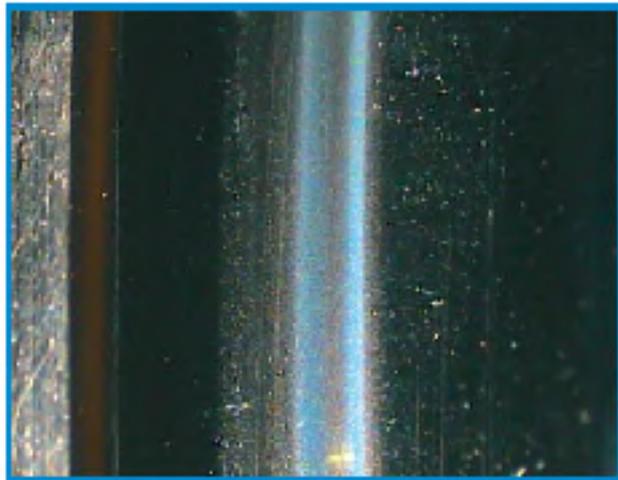
Lubrication issues can be resolved by selecting the optimum lubricant that is suited to the specific application and also by eliminating any causes that could lead to an abnormal increase in the operating temperature.





CORROSION

Corrosion displays itself in the form of red-brown marks on the ball and the rings. This happens when the bearing is exposed to environmental or chemical corrosive agents. The result is a significant increase in wear and vibration levels which together act to reduce the pre-load. In some cases, corrosion can actually give rise to fatigue-related failure. Keeping the bearing dry and avoiding contact with corrosive agents is the best prevention.



MISALIGNMENT

A tracking band that does not run parallel to the stationary ring shoulder is the result of misalignment. The tracking band on the rotating ring will be wider than normal.

Misalignment is a problem associated with poor manufacturing or assembly. Abutment shoulders must always be square to the bearing seat and seats in housings or on shafts must always be concentric. If burrs or machining debris are not removed from the assembly they can become trapped between the parts and also lead to misalignment.

The maximum acceptable misalignment depends greatly on the bearing, the type of application and will certainly need to be minimized as speeds increase.

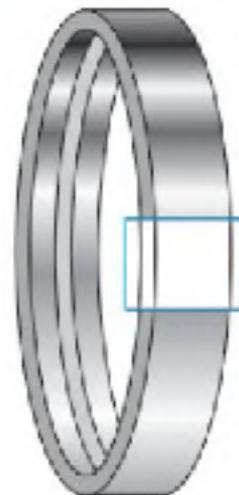
As is shown here with the tracking band being wider on one part of the ring than on another, misalignment can develop over time as parts move or during operation as parts deflect under load.

EXCESSIVE RADIAL CLEARANCE

Incorrect selection of the fit between the bearing outer ring and the housing or the inner ring and shaft can result in relative vibratory movement between the surfaces leading to fretting corrosion. Fretting corrosion generates small metallic oxide particles that are brown in colour.

These particles are abrasive and wear the surfaces. This increases the play even further and an ever rapidly increasing problem occurs.

Wear of the bearing side faces and wear of the raceway by intruding debris causes a loss of preload. Couple this with a loss of bearing fit and subsequent ring rotation and the result is poor spindle performance and spindle rejection.

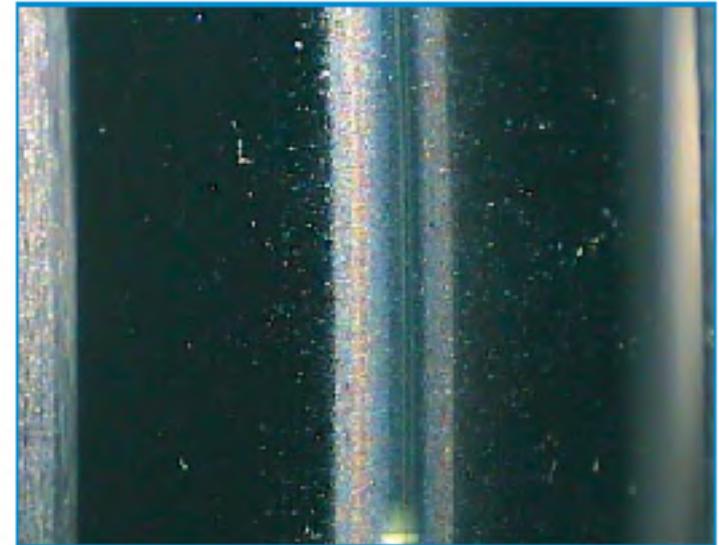


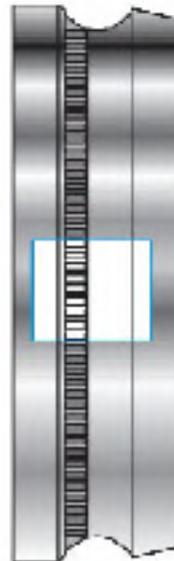
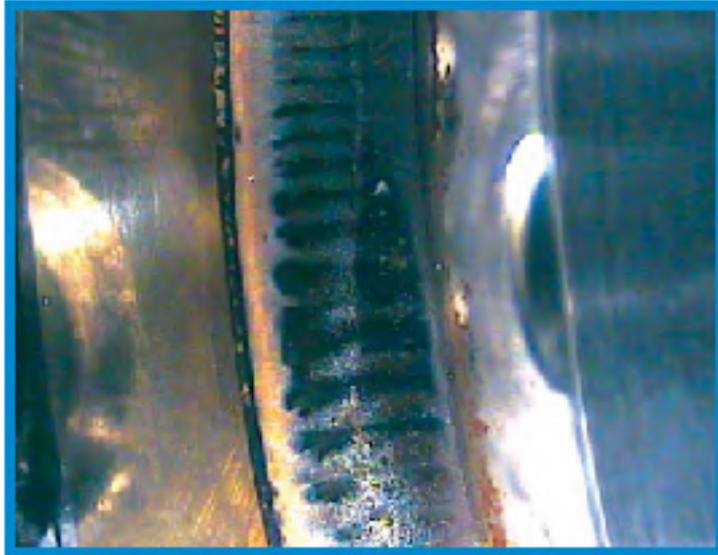
EXCESSIVE RING FIT

When fits on bearing rings are excessive, the radial play of the bearing may be reduced to the point where there has been a significant change in contact angle. Reducing the contact angle in a predominantly axially loaded bearing means that the contact load is increased and that, in turn, means a wide and often discoloured tracking band.

High interference also means high hoop stresses that, when added to the contact stress, effectively reduces bearing fatigue life.

Always ensure that the fits are adequate at operating conditions and take account of any thermal gradients as well as any speed effects.





ELECTRIC ARC DAMAGE

When an electrical current passes through a bearing, it tends to arc between non-contacting balls and raceways leaving visual patterns that range from random pitting to fluted patterns. Bearings that have suffered this sort of damage produce vibrations and noise and may have a short fatigue life.

Duración de vida de los rodamientos de superprecisión

Los rodamientos de superprecisión deben guiar las partes de las máquinas de forma sumamente precisa y transmitir fuerzas incluso a muy altas velocidades. Su selección se basa fundamentalmente en los criterios siguientes:

- Precisión
- Rigidez
- Comportamiento de la rodadura.

Estos criterios sólo perdurarán durante el periodo de tiempo esperado si los rodamientos funcionan sin desgaste. El requisito imprescindible para ello reside en

una película hidrodinámica de lubricante, con suficiente capacidad de carga, en los puntos de contacto del rodamiento. Bajo estas condiciones, los rodamientos

adquieren resistencia a la fatiga en gran variedad de aplicaciones. En el caso del diseño resistente a la fatiga, la duración en servicio del lubricante (ver la tabla 5, Duración en servicio de la grasa) limita en la mayoría de los casos la duración de vida del rodamiento.

Bajo este aspecto, para la duración en servicio son influencias decisivas las presiones de Hertz que aparecen en las áreas de contacto y la cinemática del rodamiento. Es preferible determinar individualmente la disposición de los rodamientos mediante la ayuda de programas especiales de cálculo, especialmente para unidades de alto rendimiento. Puesto que las averías a causa de la fatiga no desempeñan, en la práctica, un papel importante en los rodamientos de superprecisión, un cálculo de la

duración de vida L_{10} según DIN ISO 281, no es relevante para la evaluación de la duración en servicio de los rodamientos.

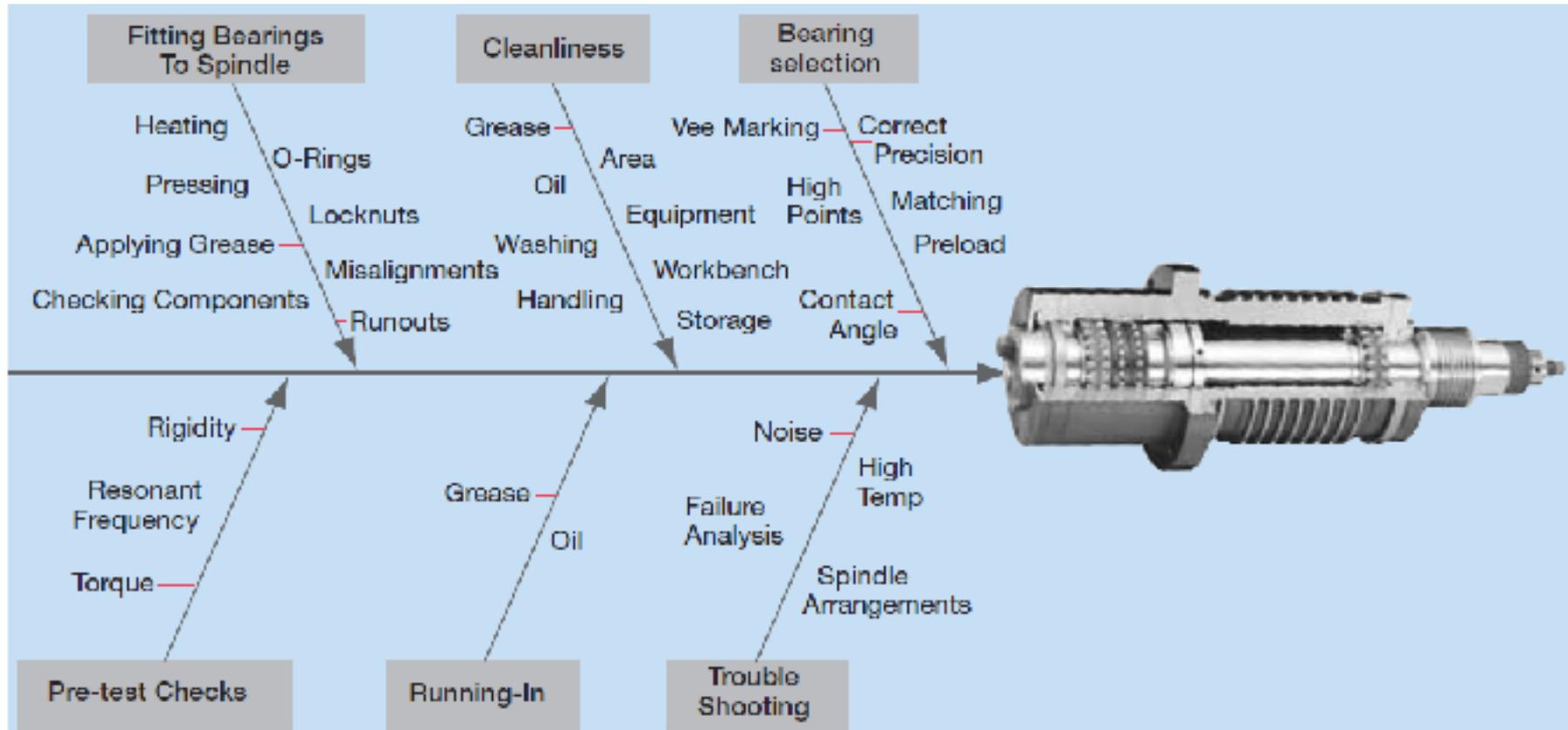
Resumen

- A altas velocidades, la capacidad de carga no es un factor!!
- El calculo de vida a la fatiga no cubre las falla de rodamientos en husillos de máquina herramientas de alta velocidad
- Razones principales de falla
 - Precarga excesiva
 - Cinemática del rodamiento
 - Lubricación
 - Contaminación
 - Errores en el montaje

Resumen

- Las velocidades máximas pueden obtenerse con sistemas de precarga por muelle ó precarga elástica.
- Ventajas de ángulo de contacto de 25°
 - Rigidez axial mas alta
 - Mayor tolerancia a diferenciales de temperaturas
 - Primera elección de husillos motorizados
- Ventajas de rodamientos híbridos
 - Menor incremento en la precarga
 - Menor temperaturas de operación
 - Mayor vida de la grasa

El Ensamble exitoso de un Husillo depende de la atención cercana a los detalles de la tabla



Protocolo de rodamiento para Husillo – Montaje

Con objetivos de aseguramiento de la calidad, se recomienda seguir un protocolo de los valores de medición como, por ejemplo

- Diámetro del asiento, interferencia
- Diferencia de medidas de los anillos separadores
- Temperatura de régimen
- Concentricidad y salto axial

Para ello, la utilización de una lista de comprobación puede servir de ayuda. A continuación, esta impreso un ejemplo y una plantilla, que también es suministrable desde www.fag.com

Husillo de fresadora _____

Diámetro de los asientos de los rodamientos	
Husillo $\varnothing 70 \pm 0,004$	delante $d1 = +0,002$ detrás $d2 = 0$
Alojamiento $\varnothing 110 - 0,004 f + 0,006$	delante $D1 = +0,003$ detrás $D2 = +0,003$
Diferencia de longitud entre ambos casquillos distanciadores: max. $\pm 0,002$ Es: 0	
Intersticio para el apriete de los tornillos 0,01 hasta 0,03 Es: 0,02	
Equilibrado de las partes rotativas <input type="checkbox"/> OK	
Rodam. para husillos delanteros	Designación del tipo FAG CS7014E.T.P4S.QUL
Rodam. para husillos traseros	Designación del tipo _____
Notas especiales: no ángulo de contacto C, no precarga UM <input type="checkbox"/> OK,	
Cantidad de grasa por rodamiento: 9,2 cm ³ <input type="checkbox"/> OK, <input type="checkbox"/> diferente: _____	
Momento de apriete de la tuerca, 1 ^{ra} 3 veces = 219 Nm <input type="checkbox"/> OK, aflojar, luego	
Momento de apriete de la tuerca, una vez y definitivo: 73 Nm <input type="checkbox"/> OK	
Conducto de distribución de la grasa realizado <input type="checkbox"/> OK	
Servicio continuo realizado, velocidad 10.000 min ⁻¹ , <input type="checkbox"/> OK	
Temperatura de servicio 44°C	
Temperatura ambiente 24°C	
Nota: La diferencia, sin refrigeración, no debe superar 30 K	
Concentricidad R max. 0,002 Es: 0,001	
Salto axial A máx. 0,002 Es: 0,001	
Máquina: Centro de mecanizado del cliente	Husillo: Número de serie _____
Localidad: _____	Fecha: _____ Montador: _____

Modelo de Checklist para husillos principales

Nombre del husillo y aplicación _____	
<div style="border: 1px dashed black; width: 80%; margin: 0 auto; padding: 10px;"> <p>Husillo – Plano de la sección con dimensiones</p> </div>	
Diámetro de los asientos de los rodamientos Husillo Ø delante d1 = _____ detrás d2 = _____ Alojamiento Ø delante D1 = _____ detrás D2 = _____ Diferencia máx. de longitud entre ambos casquillos distanciadores Es: _____ Intersticio para el apriete de los tornillos Es: _____	
Equilibrado de las partes rotativas <input type="checkbox"/> OK	
Rodam. para husillos delanteros Designación del tipo _____	Rodam. para husillos traseros Designación del tipo _____
Notas especiales: _____ _____	
Cantidad de grasa por rodamiento: _____ <input type="checkbox"/> OK, diferente: _____	
Momento de apriete de la tuerca, 1^{ra} _____ veces = Nm <input type="checkbox"/> OK aflojar, luego	
Momento de apriete de la tuerca, una vez y definitiva: _____ <input type="checkbox"/> OK	
Conducto de distribución de la grasa realizado <input type="checkbox"/> OK	
Servicio continuo realizado, velocidad _____ <input type="checkbox"/> OK Temperatura de servicio _____ °C Temperatura ambiente _____ °C	
Notas: _____	
Concentricidad R máx. 0,002 = _____	
Salto axial A máx. 0,002 = _____	
Máquina _____	Husillo _____
Localidad _____	Fecha _____ Montador _____

 Este modelo de checklist puede ser descargado de nuestra web www.tag.com

Ejemplo de aplicación Husillo de Torno

Lathe Spindle

Operating Data

Input power 15 HP (11 kW), maximum speed 3 000 r. p. m. The magnitude of load depends on speed, chip section and on the type of material the workpiece is made of. The loads can be as high as 2 200 lb (1 000 kg) both radially and axially. An extra radial load is imposed by the drive.

Bearing Selection

Whatever the operating conditions, the spindle should always be guided accurately, rigidly and with zero-clearance.

The work end is fitted with 3 spindle bearings FAG 16 7022 E.T.P5.UM in O-T-arrangement (P5 approx. 15). The tandem pair takes up thrust from the spindle nose, the third bearing thrust from the opposite direction. The bearings feature a 25° contact angle. This achieves a high axial rigidity and load-carrying capacity. Since the radial loads are absorbed by three bearings the radial load-carrying capacity and rigidity are likewise high. The O-arrangement of the bearings provides for a large bearing spread H. This is a further contribution to the overall rigidity of the spindle system since it reduces overhung length and improves the resistance to bending moments. The drive end is fitted with a double-row cylindrical roller bearing FAG NN 3018 KM.SP acting as floating bearing.

Bearing Dimensioning

The spindle diameter is dictated by the high rigidity requirements. Basing on average load and speed the

bearing calculation furnishes an index of dynamic stressing $f_L = 4.0$. This corresponds to a life of 30 000 hrs.

Bearing Clearance

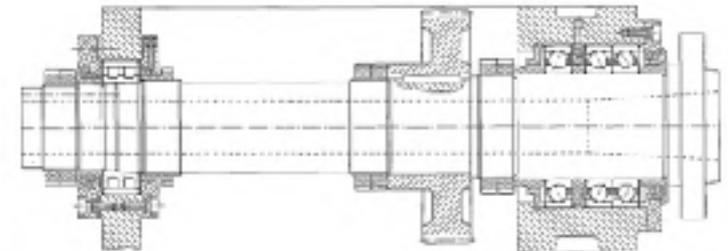
Spindle bearings: Since the bearings are of the universal UM design no clearance adjustment is required.
Cylindrical roller bearings: The inner ring is press-fitted on the tapered shaft seat. This reduces the initial bearing clearance to 0.0005-0.0008 inch (12-15 micron) when cold.

Shaft and Housing Machining Tolerances

	Work End		Drive End	
	Shaft	Housing	Shaft	Housing
Diameter	js5	JS6	Tapcr 1-12	K6
Out-of-Round Taper	IT2	IT3	IT2	IT3
Out-of-Square of Abutment Shoulder	IT2	IT3	IT2	IT3

Lubrication and Seals

Grease lubrication. Small quantities of grease are replenished at intervals of approximately 1 year. The bearings are sealed by labyrinths.



Bearing Mounting of a Lathe Spindle

Ejemplo de aplicación Husillo vertical de fresado

Operating Data

Input power 2.2-7 HP (1.8-5 kW), speed 3 000-18 000 r. p. m. Radial and thrust loads vary with speeds and workpiece material and range from 33-284 lb (15 to 120 kg).

Bearing Selection

Safe bearing operation must be expected over the whole speed range from 3 000 to 18 000 r. p. m. A sufficiently rigid spindle guidance, both radially and axially, must, for instance, be ensured at 3 000 r. p. m. and elevated load. Neither can a prohibitive bearing temperature rise be permitted when the bearing operates at the maximum speed of 18 000 r. p. m., since this would impair machining accuracy.

The work end of the spindle is fitted with 2 spindle bearings FAG A 7209 E.T.P4.UL mounted in O-arrangement (P4 approx. 1/). The preload is 35 kg (75 lb). The drive end is supported in a spindle bearing FAG A 7208 E.T.P4. To ensure clearance-free operation this bearing is slightly preloaded by springs.

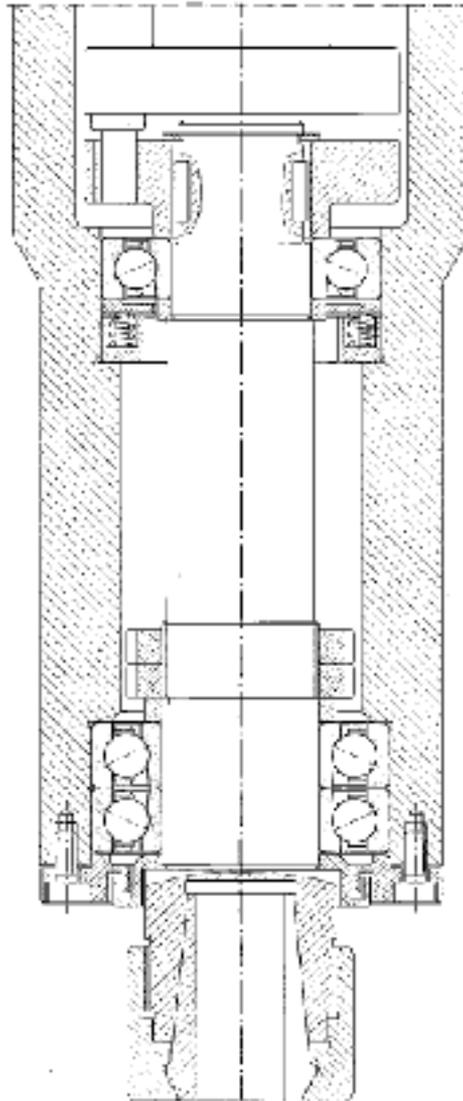
Shaft and Housing Machining Tolerances

	Work End		Drive End	
	Shaft	Housing	Shaft	Housing
Diameter	js4	JS5	js4	H5
Out-of-Round	IT1	IT2	IT1	IT2
Taper				
Out-of-Square of Abutment Shoulder	M	IT2	IT1	IT2

Lubrication and Seals

Because of the high speed the bearings are oil mist lubricated. This is best achieved with spindle bearing design A. A gap of sufficient narrowness between spindle and housing cover provides for the necessary sealing action and the oil-mist escaping through this gap will, in most cases, prevent the entry of abrasive particles. A flinger ring should, however, be provided whenever the pressure of the coolant impinging at the gap exceeds the pressure of the oil mist.

Ejemplo de aplicación Husillo vertical de fresado



Bearing mounting of a vertical milling spindle

Montaje de Rodamiento en Husillo de fresado

Bearing Mounting of a Milling Spindle

Operating Data

Input 30 HP (23 kW), speed 20 3 600 r. p. m. The maximum load is 3 300 lb (1 500 kg). The spindle is relieved of the torques from the drive. In the lower-speed range the spindle is used for the milling of steel and in the upper range for the milling of light metals.

Bearing Selection

Milling spindle bearings are expected to offer high rigidity and accurate guidance. Speed is high. The work end is fitted with 3 spindle bearings FAG A 7222 E 114 UM (14 approx. 17). Two bearings are arranged in tandem and accommodate the thrust load; the third bearing absorbs the opposite thrust. The spacers should be of equal width and parallel-sided. The drive end features a double-row cylindrical roller bearing FAG NIM 3020 KM SP acting as floating bearing.

Bearing Dimensioning

Bearing size depends on shaft diameter and loads. In the calculation, preload must be taken into account in addition to the radial and thrust loads.

Assuming conditions of average load and speed the index of dynamic stressing $f_d = 4.8$, this corresponds to an average fatigue life of approximately 50 000 hrs. For a high-load spindle this is a satisfactory value.

Bearing Clearance

With the fits indicated below and the inner and outer rings firmly clamped axially to each other, the spindle

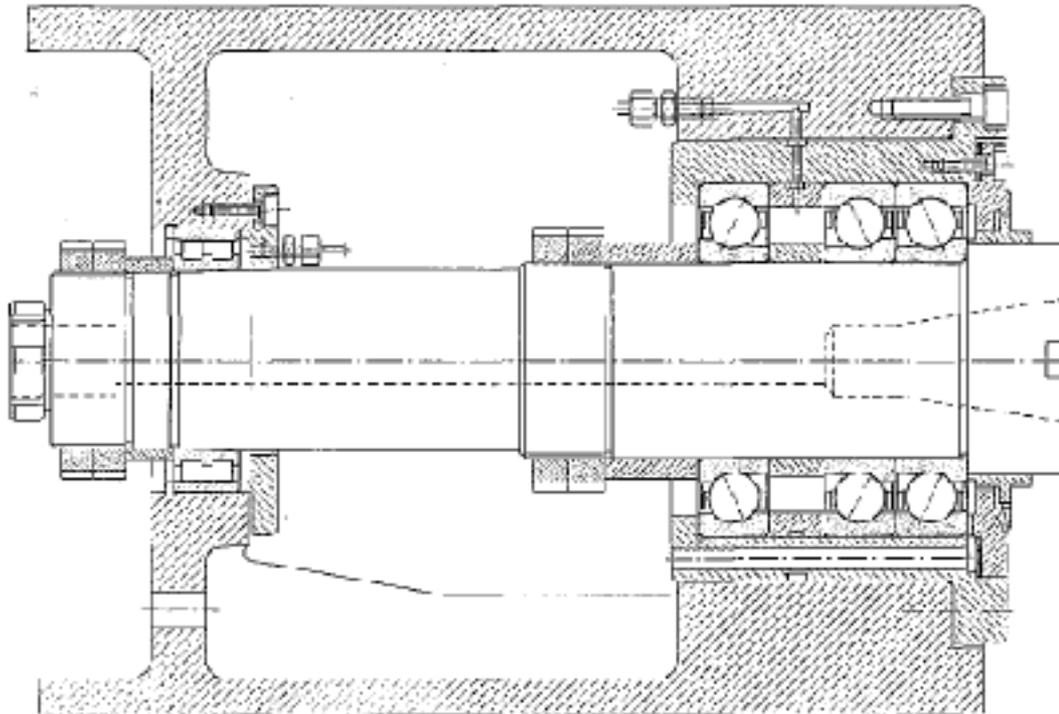
bearings of universal design UM feature a given amount of preload. The radial clearance of the cylindrical roller bearing is obtained by pressing the bearing inner ring on the tapered shaft. The clearance should be 0.0005-0.0006 inch (12-15 micron) measured when the machine is cold. At an operating temperature of 50-60 °C the bearing will have zero clearance.

Shaft and Housing Machining Tolerances

	Work End		Drive End	
	Shaft	Housing	Shaft	Housing
Diameter	js4	JS6	1aper 1-12	K6
Out of Round Taper	IT1	IT2	IT2	IT3
Out-of-Square of Abutment Shoulder	IT1	IT2	IT2	IT3

Lubrication and Seals

Oil mist lubrication. The oil is atomized in a micro-atomizer and the droplets are carried, in a stream of compressed air passing through flexible tubes, to the bearings. The spent air escapes through the sealing gaps and the oil gathers in the spindle box. Since the pressurization prevents the entry of foreign matter, simple seals are satisfactory.



Bearing Mounting of a Milling Spindle

High-speed motor milling spindle

Operating data

Input power 11 kW;
maximum spindle speed 28,000 min⁻¹.

Bearing selection

The bearings must be suitable for very high speeds and for the specific thermal operating conditions in a motor spindle. Hybrid spindle bearings with ceramic balls are particularly suitable for this application. Milling spindles must be guided extremely accurately both in the axial and in the radial direction.

Work end:

1 spindle bearing set FAG HC7008E.T.P4S.DTL in *tandem arrangement*.

Drive end:

1 spindle bearing set FAG HC71908E.T.P4S.DTL in *tandem arrangement*.

The bearing pairs at drive end and work end are mounted in *O arrangement* and elastically adjusted by means of springs (spring load 300 N), corresponding to a medium preload. The bearing pair at the drive end is mounted on a sleeve which is supported on a linear ball bearing with zero clearance so that axial length variations of the shaft can be freely compensated for.

Bearing dimensioning

Bearing size and bearing arrangement are selected on the basis of the specified speed and on the spindle diameter.

Two other factors that have to be taken into account are the heat generated by the motor, which causes a major temperature difference between the inner ring and the outer ring of the bearing, and the ring expansion which makes itself felt by the centrifugal force resulting from the high speed. In a rigid bearing arrangement, this would considerably increase the preload. Due to the spring preload, both these influences are easily compensated for. As a result, the contact pressure in the rolling contact area of the bearing is relatively low ($p_0 \leq 2,000 \text{ N/mm}^2$), and the bearings are *failsafe*. Consequently, the service life of the bearings is dictated by the *grease service life*.

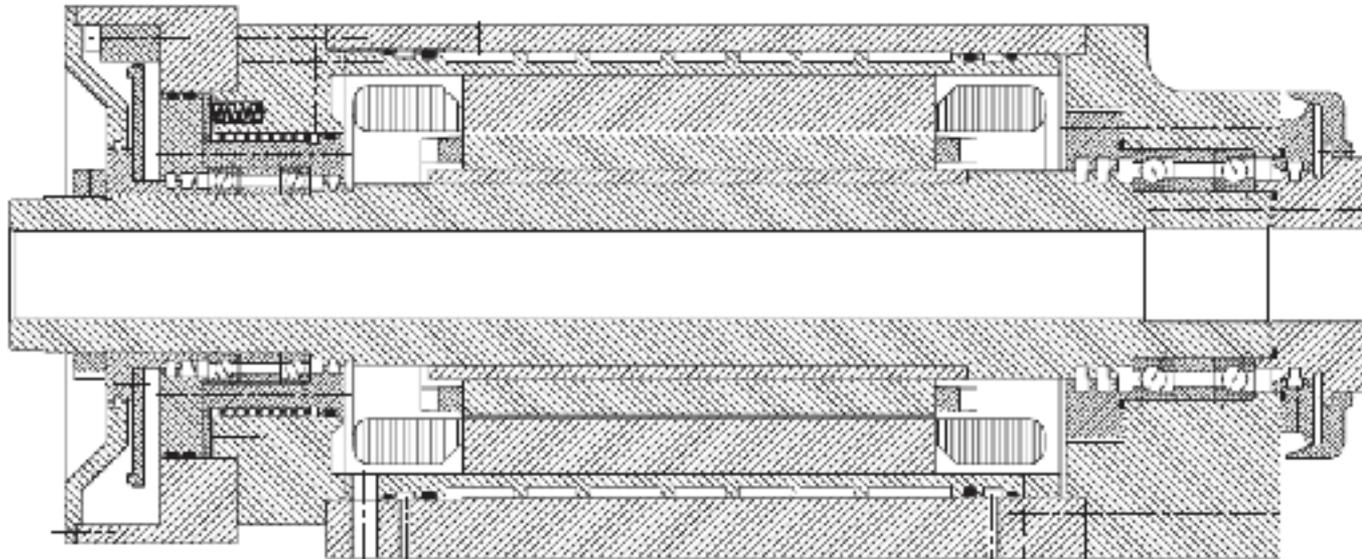
Lubrication, sealing

The bearings are lubricated with rolling bearing *grease Arcanol L207V* which is particularly suitable for the greater thermal stressing and for high speeds.

To protect the *grease* from contamination, and consequently to increase the *grease service life*, the bearings are sealed by labyrinths consisting of a gap-type *seal* with *flinger* grooves and a collecting groove.

Machining tolerances

Bearing	Seat	Diameter tolerance	Form tolerance (DIN ISO 1101)	Axial runout tolerance of abutment shoulder
Spindle bearing (drive/work end)	Shaft Housing	+6/+10 μm 3/5 μm	1 μm 2 μm	1.5 μm 3 μm



13: Bearing arrangement of a high-speed motor milling spindle

Motor spindle of a lathe

Operating data

Input power 18 kW;
maximum spindle speed 4,400 min⁻¹.

Bearing selection

The bearings must be very rigid and accurately guide the spindle in the radial and axial direction. This is achieved by selecting as large a shaft diameter as possible and a suitable bearing arrangement. The bearings are preloaded and have an increased precision. Also, the specific thermal conditions found in a motor bearing arrangement have to be taken into account.

Work end: 1 spindle bearing set
FAG B7024E.TP4S.QBCI.
(*tandem-O-tandem arrangement*)
as *locating bearing*

Opposite end: 1 cylindrical roller bearing
FAG N1020K.M1.SP
as *floating bearing*.

Bearing dimensioning

As the bearing size primarily depends on the spindle rigidity (larger spindle diameter) bearing sizes are

obtained whose load carrying capacity is more than adequate.

Consequently, the *service life* of the bearings is primarily dictated by the *grease service life*.

Bearing clearance

The spindle bearings are mounted with a light preload. The cylindrical roller bearing is *adjusted* to a *radial clearance* of a few μm by axially pressing the tapered inner ring onto the tapered shaft seat and reaches the required zero clearance at operating temperature.

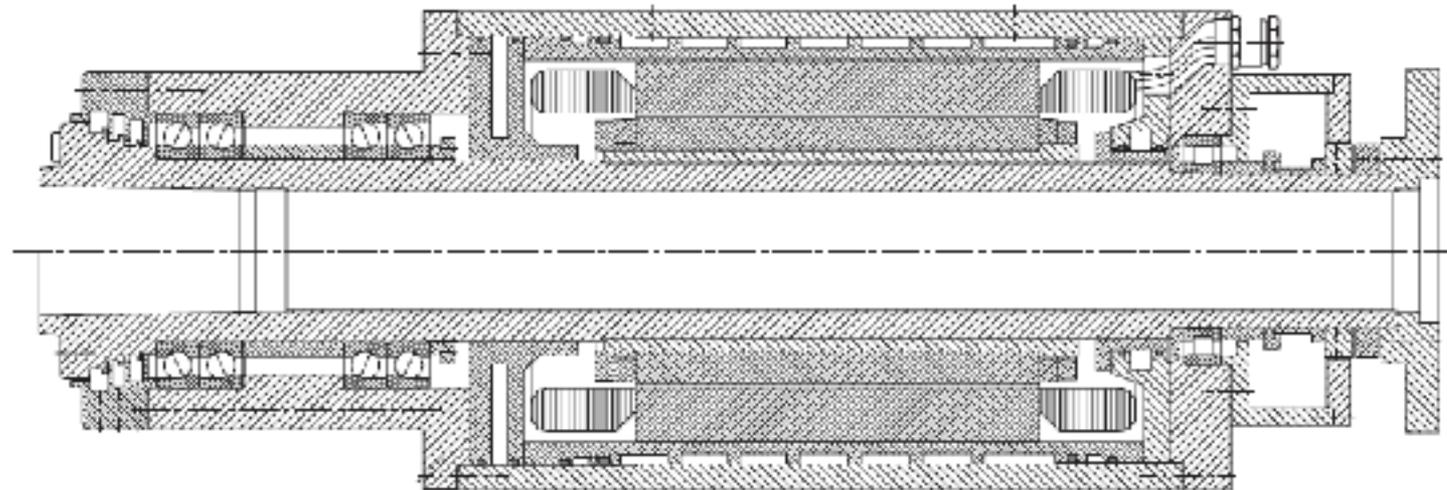
Lubrication, sealing

The bearings are lubricated for life with the rolling bearing *grease Arcanol L207V*. This *grease* is particularly suitable for increased temperatures and high speeds. Approximately 35 % of the spindle bearing cavity and approximately 20 % of the cylindrical-roller bearing cavity is filled with grease.

Sealing is provided by a stepped labyrinth with collecting grooves and drain holes. A gap-type *seal* protects the cylindrical roller bearing from external contamination.

Machining tolerances

Bearing	Seat	Diameter tolerance	Form tolerance (DIN ISO 1101)	Axial runout tolerance of abutment shoulder
Spindle bearing	Shaft	$5/15 \mu\text{m}$	$1.5 \mu\text{m}$	$2.5 \mu\text{m}$
	Housing	$-4/+10 \mu\text{m}$	$3.5 \mu\text{m}$	$5 \mu\text{m}$
Cylindrical roller bearing	Shaft, tapered	1:12	$1.5 \mu\text{m}$	$2.5 \mu\text{m}$
	Housing	$15/13 \mu\text{m}$	$3.5 \mu\text{m}$	$5 \mu\text{m}$



14: Motor spindle bearing arrangement of a lathe

PREGUNTAS

GRACIAS