

APUNTES SOBRE LA SELECCIÓN DE TOLERANCIAS Y AJUSTES EN RODAMIENTOS.

MSc. Laureano E. Suárez Martínez¹, MSc. Agustín Almería Baró²

*1. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca
Km.3, Matanzas, Cuba.*

*2. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca
Km.3, Matanzas, Cuba.*

Resumen:

En la construcción de maquinaria, se presta especial atención a la reducción del rozamiento entre piezas encargadas de la transmisión del movimiento de giro. Entre los elementos más empleados aparecen cojinetes de deslizamiento y de rodamiento, que con un uso adecuado reportan elevados grados de fiabilidad, sin embargo por las variadas y severas condiciones de funcionamiento debe prestarse especial cuidado además de a la correcta selección del tipo de cojinete, al establecimiento de las tolerancias dimensionales y de precisión geométrica para todos los elementos que participan en la unión durante el montaje. En estos apuntes se propone el uso de un método normalizado para la correcta selección de los valores de tolerancia y ajuste obteniéndose como resultado una guía de trabajo que puede ser utilizada en la industria de fabricación de piezas.

Palabras claves: cojinetes; rodamientos; tolerancias; ajustes.

Introducción:

Dentro de los ajustes cilíndricos lisos la selección de tolerancias adecuadas entre las uniones de los cojinetes con árboles y alojamientos constituye una etapa decisiva para el correcto funcionamiento de la máquina, esta elección se agrava por constituir los cojinetes elementos normalizados con elevados requerimientos superficiales, y por las variadas y severas condiciones de funcionamiento a que son expuestos. La experiencia en estos casos constituye una aliada insustituible para establecer los valores adecuados, pero esta no se logra hasta después de largos años de paciencia combinada a una alta dosis de inteligencia y talento. La recopilación de la práctica en la selección de ajustes en cojinetes constituye un aporte invaluable que contribuye al perfeccionamiento de la industria y a la elevación de la calidad en la fabricación de piezas.

En estos apuntes se hace un repaso de los conceptos fundamentales y de los tipos de cojinetes más conocidos, ofreciendo junto a problemas típicos resueltos, una extensa cantidad de recomendaciones y tablas que ayudan en la selección de ajustes y tolerancias de piezas que acoplan con cojinetes, así como para valores recomendados de rugosidad superficial y de ayuda al mecanizado.

1.1 Cojinetes de deslizamiento.

El tipo de apoyo más simple utilizado en la construcción de maquinaria, en el que se garantiza valores pequeños de ajuste y se reduce la resistencia al rodamiento hasta límites admisibles, lo constituyen los cojinetes de deslizamiento.

Comúnmente llamados *bujes* están constituidos por un cojinete de material diferente al del árbol que soporta, escogido de modo que presente un coeficiente de rozamiento lo más bajo posible y con una pequeña holgura entre este y su apoyo, ocupada en ocasiones por un lubricante con características específicas que forma una cuña líquida para apartar los metales entre si durante el funcionamiento del equipo, evitando el rozamiento seco (Mayer, 2006).

Se componen de una o de dos piezas y pueden tener ranuras longitudinales, en la superficie interna para facilitar la lubricación en árboles que giran a poca velocidad y ejercen una presión limitada sobre la superficie de deslizamiento. Cuando aumenta la velocidad del árbol y su presión unitaria, los cojinetes son revestidos en su superficie interna por metal antifricción, con pequeños espesores (Figura 1).

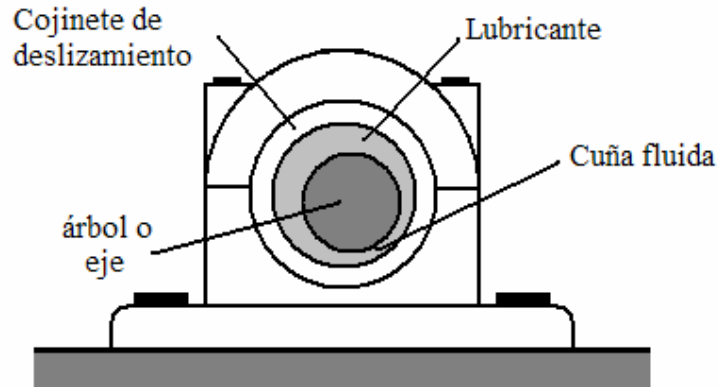


Figura 1. Esquema de un cojinete de deslizamiento donde se nota la película de lubricante (aceite) y la cuña que se forma en la zona de alta presión.

Son de utilidad en apoyos de árboles o ejes que funcionan a baja velocidad y con un régimen de funcionamiento estable, pues el rozamiento inicial de arranque es elevado produciéndose el contacto metal-metal lo que reduce su periodo de vida útil.

Sin embargo luego que se establece el régimen de funcionamiento entre las capas fluidas del lubricante, tiene la ventaja de presentar pequeños valores de ruido y pueden ser diseñados y construidos *in situ* por el ingeniero lo que permite un alto grado de adaptabilidad a las condiciones específicas de funcionamiento.

El cálculo de los ajustes para los cojinetes de deslizamiento se basa en la teoría hidrodinámica del lubricante, que supone que el lubricante atraído por la superficie movida forma una cuña, cuya fuerza debe superar la fuerza de acción y separar las superficies metálicas, es decir, el rozamiento de las superficies metálicas se sustituye por las capas del lubricante (Luna et al., 2006). Para la asignación de los valores de tolerancia será necesario realizar el cálculo del ajuste teniendo en cuenta los valores máximo y mínimo de los juegos límites, determinados por las ecuaciones de la hidráulica que garanticen la suspensión fluida.

Ejemplo 1:

La solución de las ecuaciones de la hidráulica para el funcionamiento del ajuste entre un árbol y un cojinete de deslizamiento de $\varnothing 100$ mm arroja valores de juego mínimo de funcionamiento equivalente a $70 \mu\text{m}$, no debiéndose sobrepasarse en ningún momento el juego máximo de $170 \mu\text{m}$. Determine los símbolos normalizados, para ambos elementos, que garantice las condiciones impuestas.

Respuesta:

Datos.

Dimensión nominal $D = d = \varnothing 100 \text{ mm}$

$J_{\text{máx.}} \dots 170 \mu\text{m} = 0,170 \text{ mm}$

$J_{\text{mín.}} \dots 70 \mu\text{m} = 0,070 \text{ mm}$

a) Es útil primeramente determinar la tolerancia de ajuste (TA)

$$TA = J_{\text{máx.}} - J_{\text{mín.}} = 170 - 70 \quad (1.1.1)$$

$$TA = 100 \mu\text{m}$$

b) Pues a partir de TA puede obtenerse una primera aproximación de la tolerancia para los elementos de la unión considerando que cada uno de ellos aporta la mitad de su tolerancia al ajuste.

$$TA/2 = 100/2 = 50 \mu\text{m}$$

c) Buscando en las tablas de tolerancia (Tabla1) para $\varnothing 100 \text{ mm}$, se encuentra como valor próximo al de $50 \mu\text{m}$ los grados de calidad IT8 ($54 \mu\text{m}$) e IT7 ($35 \mu\text{m}$).

d) Determinación de los símbolos normalizados del agujero

Considerando que la norma cubana recomienda de la para la designación de tolerancias en el sistema de ajustes agujero único, que $IT_{\text{agujero}} \geq IT_{\text{eje}}$, podemos tomar para el agujero el mayor de los grados de calidad identificados, en este caso IT8 ($54 \mu\text{m}$) y situar la tolerancia en la zona H, quedando el agujero del buje como

$$\varnothing 100\text{H8} \left(\begin{array}{c} +0.054 \\ 0. \end{array} \right)$$

e) Símbolos normalizados del eje

Para el eje se adopta una calidad (n-1) o (n-2).

Adoptando una calidad n-1 es decir IT7 = $35 \mu\text{m}$ y observando que se cumple:

$$IT_{\text{agujero}} + IT_{\text{eje}} \leq Ta \quad (1.1.2)$$

$$54 + 35 < 100$$

$$89 < 100$$

Podemos determinar el valor de las desviaciones a partir de la ecuación 1.1.3:

$$J_{\text{mín.}} = EI - es \quad (1.1.3)$$

Despejando es , con $EI = 0$ queda:

$$es = - J_{\text{mín.}} = -70 \mu\text{m} = -0.070 \text{ mm}$$

y con la ecuación 1.1.4 para determinar la otra desviación, queda

$$IT=es-ei \quad (1.1.4)$$

$$ei = es - IT = (-70 - 35) \mu m$$

$$ei = -105 \mu m = -0.105 mm$$

Para normalizar estos valores se busca en las tablas de la Norma Cubana para la selección de la zona de tolerancia (Tabla 2), aquí se eligen con una dimensión nominal de 100 mm el valor de la desviación principal más cercana al valor de cálculo ($es=-70 \mu m$), en este caso correspondiente a la zona e:

$$es = -72 \mu m = -0,072 mm$$

y resolviendo de nuevo la ecuación 1.1.4 para un grado de calidad 7, ei queda finalmente:

$$ei = es - IT = -72 - 35 = -107 \mu m = -0,107 mm$$

Es decir, para el eje se selecciona $\varnothing 100e7 \begin{pmatrix} -0.072 \\ -0.107 \end{pmatrix}$. Con estos valores se pasa a comprobar si se cumplen las condiciones impuestas.

Comprobación.

$$\varnothing 100 H8/e7$$

$$J_{m\acute{a}x.} = ES - ei = 54 - (-107) \quad (1.1.5)$$

$$J_{m\acute{a}x.} = 161 \mu m < 170 \mu m$$

$$J_{m\acute{i}n.} = EI - es = 0 - (-72) \quad (1.1.6)$$

$$J_{m\acute{i}n.} = 72 \mu m > 70 \mu m$$

Puede observarse que se cumplen las condiciones impuestas; por lo que los símbolos normalizados de los elementos de la unión serán:

$$\varnothing 100 H8/e7.$$

1.2. Cojinetes de rodamiento.

Para sustituir la fricción del deslizamiento fluido por la de rodadura, siempre mucho menor se emplean los cojinetes de rodamiento en lugar de los soportes con cojinetes de deslizamiento, En los cojinetes de rodamiento se obtiene la movilidad de la parte rotatoria respecto a la fija no por deslizamiento relativo sino por la interposición de piezas de rodamiento en formas de bola o de rodillos (cilíndricos o cónicos), que ruedan con pequeñísima fricción sobre superficies adecuadas.

Este tipo de cojinete presenta entre sus principales ventajas un escaso rozamiento al arranque, menor limitación de velocidad, ausencia de necesidad de emplear lubricantes especiales y menor consumo de lubricantes, más baja temperatura de funcionamiento a régimen normal, como consecuencia del menor rozamiento, menor tamaño a igualdad

de carga admisible, poco desgaste de funcionamiento y por fabricarse de manera seriada como elementos normalizados presentan una gran facilidad y rapidez de recambio.

Los cojinetes de rodamiento desde el punto de vista de su función cinemática pueden dividirse en tres categorías (Ahumada, 2005):

1. Cojinetes de rodamiento para cargas radiales.

Están contruidos para soportar preferentemente cargas dirigidas en sentido perpendicular al eje de rotación. La carga radial origina reacciones en los apoyos en sentido también radial (Figura 2).

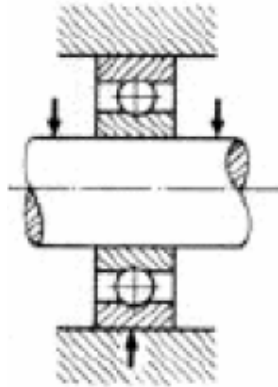


Figura 2. Rodamientos para cargas radiales; las flechas indican el sentido de las cargas y las reacciones que generan.

2. Cojinetes de rodamiento para cargas axiales.

Pueden soportar únicamente cargas que actúen según el eje de rotación. La carga puede ser en un sentido en este caso se emplean rodamientos denominados de simple efecto o en los dos sentidos (rodamiento de doble efecto), (Figura 3).

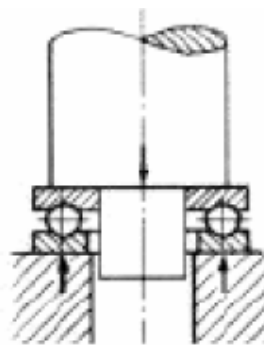


Figura 3. Rodamientos para cargas axiales

3. Cojinetes de rodamiento para cargas mixtas.

Las cargas que soportan este tipo de rodamiento tienen dos componentes, una según el eje de rotación y otra perpendicular al mismo, para asimilarla pueden utilizarse rodamientos con el elemento rodante inclinado un ángulo igual a la resultante de la

carga aplicada o en algunos casos un rodamiento de cada tipo de los vistos anteriormente en cada extremo del apoyo y así estos se reparten el efecto de cada carga. (Figura 4).

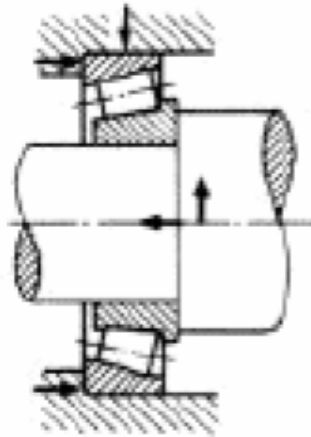


Figura 4. Rodamientos para cargas mixtas; aquí el sentido de la carga aplicada es en ambas direcciones.

1.2.1. Características de los rodamientos.

Todos los rodamientos están constituidos por dos aros o discos, que tiene apropiados caminos de rodadura (canales o pistas rectificadas) sobre los que ruedan las bolas o rodillos, que se mantienen a distancia uniforme, mediante jaulas de chapa estampada (separadores). Estas jaulas en los cojinetes desarmables, sirven también para conservar en posición las piezas del rodamiento cuando se desmontan o desalinean. (Figura 5).

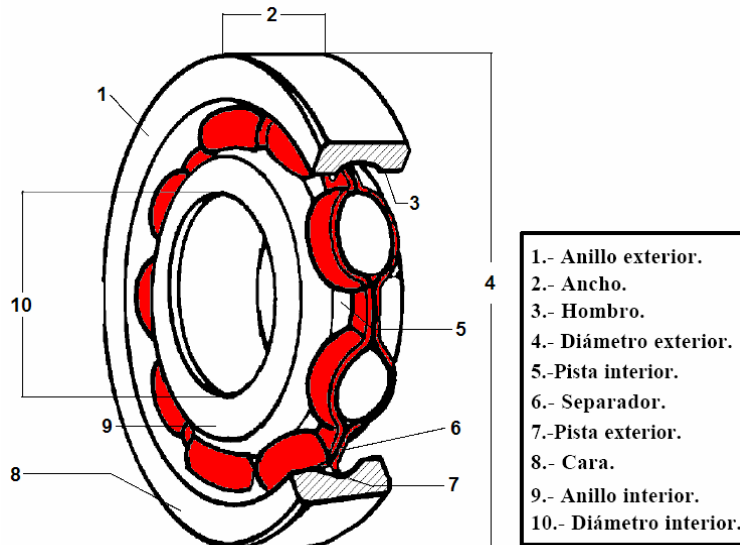


Figura 5. Partes que componen un cojinete de rodamiento.

Los cojinetes se construyen de acero con adecuadas características de dureza y tenacidad, que se consigue en muchos casos con tratamientos térmicos lo que les

permite alcanzar con muy poco desgaste millones de revoluciones, sometidos a cargas variables y a esfuerzos muchas veces concentrados y localizados.

La lubricación en los rodamientos varía con la velocidad y el tamaño de los cojinetes y se efectúa con grasas o aceite. Algunos tipos de cojinetes se fabrican con cierre hermético para proteger los elementos rodantes de las partículas abrasivas, y se utilizan en las partes de máquinas con sitios en que los cojinetes son de difícil acceso y lubricación, para ello se instalan previamente engrasados sin necesidad que se lubriquen desde afuera.

Para la selección adecuada del tipo de rodamiento se emplean fórmulas en las que interviene el tiempo de duración que se exige para el cojinete, el tipo de carga, el movimiento relativo de la superficie, así como la dirección y el sentido del esfuerzo actuante entre otras.

1.2.2. Designación de los rodamientos.

La identificación de rodamientos con algunas variantes a logrado normalizarse y en la mayoría de los casos hace referencia a su diseño, dimensiones, precisión, constitución interna, etc. Esta identificación está formada por el nombre del rodamiento, seguida de la denominación abreviada del mismo, la cual se compone de una serie de números y códigos de letras, agrupados en un código numérico básico y un código suplementario. El código numérico básico se compone de una serie de cifras, cuyo significado es el siguiente: tipo de rodamiento, serie dimensional (serie de diámetro exterior, serie de ancho, serie de ángulo de contacto) y diámetro interior del rodamiento. Si las condiciones de servicio exigen una versión especial del rodamiento, se añaden unos signos adicionales a la denominación abreviada, constituyendo un código suplementario. Este código viene fijado por cada casa productora, y designa: tratamiento térmico, precisión, juego interno y demás factores relacionados con las especificaciones y la constitución interna del rodamiento. Todos estos códigos se encuentran tabulados en los catálogos suministrados por los fabricantes de rodamientos.

Por ejemplo:

Rodamiento rígido de bolas 6306 L1C3

6= código de tipo de rodamiento correspondiente a los rodamientos rígidos de una hilera de bolas.

3= serie de diámetro exterior.

06= código de diámetro interior (para obtener el diámetro interior se multiplican estos dígitos por 5.).

L1= código de jaula mecanizada de latón.

C3= código de juego radial interno mayor que lo normal.

Además suele indicarse el tipo de precisión de fabricación, en cinco clases marcadas por una P seguida de un número:

P0- Precisión de fabricación de calidad normal

P6-Alta calidad

P5-Muy alta calidad.

P4-Calidad elevada

P2-Superpreciso

1.2.3. Tipos de rodamientos.

Con el propósito de ilustrar se muestra una cantidad representativa de rodamientos entre los tipos más utilizados en la Tabla 3, para una lista completa deberán consultarse los catálogos del fabricante.

1.2.4. Condiciones de funcionamiento de los cojinetes de rodamiento.

Las condiciones en las que puede funcionar un cojinete pueden ser (Tabla 4):

- a) Árbol que gira en un soporte fijo.

Es el caso más general, el aro interior del cojinete está sometido a un esfuerzo radial con una presión tanto mayor cuanto más elevada sea la carga y gira con el árbol respecto al aro exterior y al soporte que está montado. La posición en la que actúa la fuerza es constante en el espacio

- b) Eje fijo alojamiento giratorio

Se presenta este caso en las poleas locas, ruedas libres de automóviles, etc.

El aro interior soporta la carga siempre en el mismo punto de su superficie mientras que la superficie de rodamiento del aro exterior giratorio está sometido a la carga sucesivamente en todos los puntos. El aro giratorio está apretado en el sentido radial contra su propio asiento.

- c) Condiciones de funcionamiento indeterminado.

Existe una fuerza dinámica que puede modificar las condiciones estáticas de la carga.

2.1. TOLERANCIAS Y AJUSTES DE LOS RODAMIENTOS

Para la precisión dimensional, las normas ISO 286 (ISO 286-2 ,2010) recomiendan valores de tolerancias y límites de errores permisibles para las dimensiones principales (diámetros interior y exterior, ancho y rebordes redondeados), necesarias para el montaje de rodamientos sobre árboles y alojamientos de soportes.

En la selección del ajuste entre el cojinetes de rodamiento y los elementos que con el acoplan, debe tenerse presente que los rodamientos presentan dos superficies de acoplamiento con comportamientos diferentes: en la unión del rodamiento con el agujero interior del alojamiento se comporta como un eje, al contrario del acoplamiento con un árbol o eje por su agujero interior; lo que unido a que los rodamientos son elementos normalizados que se fabrican con zonas y grados de calidad estandarizados, exige un mayor cuidado para establecer las tolerancias y su posición (figura 6).

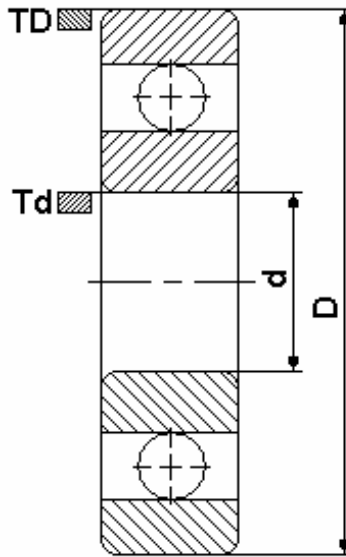


Figura 6. Representación de las zonas de tolerancias de fabricación normalizadas en los rodamientos, TD y Td simbolizan la tolerancia del diámetro mayor y menor respectivamente, note que su posición es siempre por debajo de la línea cero (dimensión nominal).

El ajuste del rodamiento exige unas tolerancias estrechas para garantizar un correcto funcionamiento. La tolerancia del árbol sobre el cual va montado el rodamiento, así como la del alojamiento cilíndrico en el soporte, se determinarán en función de los siguientes criterios: naturaleza, magnitud y dirección de la carga; condiciones de temperatura, diámetro y velocidad del rodamiento, método de montaje y reglaje.

Dependiendo del sentido en que actúan las cargas los rodamientos han de fijarse en el eje o árbol y en el alojamiento en los sentidos radial, axial y tangencial. Una fijación radial y tangencial se consigue a través de un cierre de fuerza, es decir, por un ajuste fijo del aro del rodamiento. La fijación axial se consigue mediante un cierre de forma, p. e. tuercas, tapas del alojamiento, tapas del eje, resaltos o escalones, etc.

En general, el aro en contacto con el mecanismo móvil debe ser de ajuste con apriete, debiendo aumentar el apriete proporcionalmente con la carga; por su parte, el aro en contacto con el mecanismo fijo debe ser, en principio, ajustado sin apriete.

Las figuras 7 y 8 representan los ajustes recomendados para los rodamientos, con el agujero del alojamiento y con el árbol o eje respectivamente.

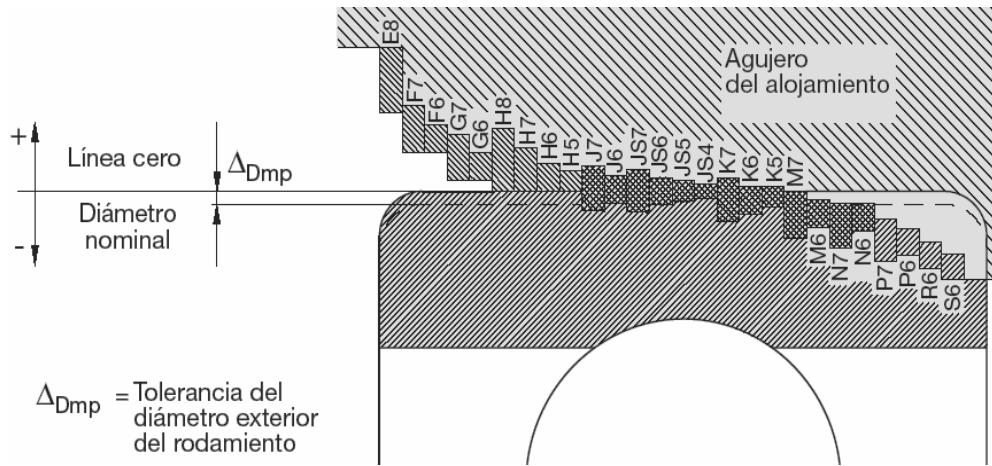


Figura 7. Ajustes recomendados por la norma ISO 286 entre el alojamiento y la superficie exterior del rodamiento.

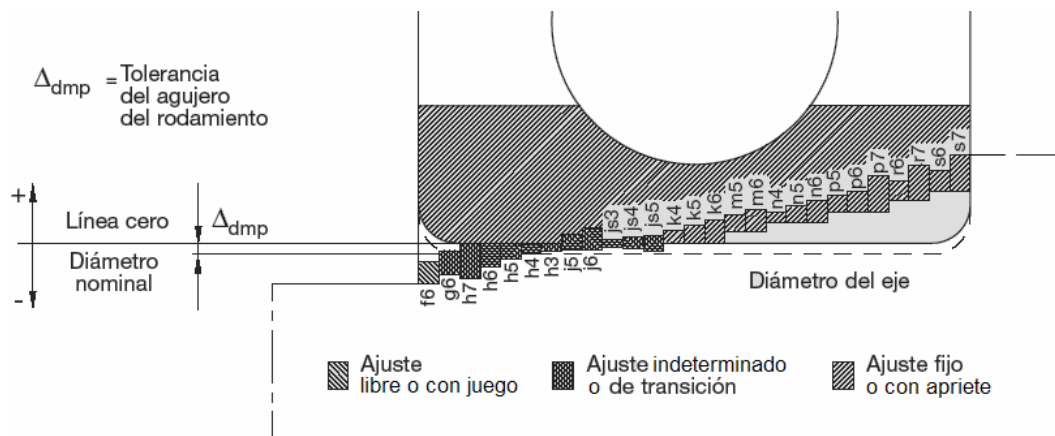


Figura 8. Ajustes recomendados por la norma ISO 286 entre la superficie interior del rodamiento y el árbol o eje.

Para la elección de los ajustes se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- Los errores de la forma cilíndrica (cilindricidad) deberán ser pequeños para que los rodamientos se asienten bien a lo largo de toda su periferia y poder aprovechar totalmente la capacidad de carga del rodamiento.
- Deberá existir un apriete entre las superficies de acople y los aros para evitar movimientos relativos de giro que pueden provocar deterioro con los asientos. La magnitud del apriete está condicionado a la intensidad de la carga.
- Uno de los aros del rodamiento libre debe permitir variaciones longitudinales del eje y alojamiento, es decir debe ser “desplazable” en dirección axial, para evitar tensiones adicionales al dilatarse los elementos durante el funcionamiento.

Por estas razones, los aros interior y exterior de los rodamientos radiales deben recibir un ajuste fijo. Esto, es válido excepto para al menos en un aro, dependiendo de si el

rodamiento libre debe poderse desplazar en sentido axial o si se quieren montar o desmontar los rodamientos con frecuencia.

Para ello debe decidirse cuál de los aros recibe carga puntual o carga circunferencial. Se permite un ajuste holgado (eje según g y alojamiento según G, H, o J) para el aro cuya carga está constantemente dirigida al mismo punto (carga puntual). El otro aro, que gira con relación a la dirección de la carga (carga circunferencial), generalmente debe recibir un ajuste fijo. Cuando hay que contar con cargas de mayor importancia, sobre todo con golpes, deberá elegirse un apriete de ajuste mayor y tolerancias de forma más estrechas.

Debe tenerse en cuenta al diseñar ajustes fijos, que cuando existe un gradiente de temperatura entre los aros interior y exterior disminuye el juego radial de los rodamientos.

Las tablas 5 y 6 muestran una guía para la selección de tolerancias y su posición espacial en árboles y ejes acoplados con rodamientos radiales y axiales respectivamente.

Las tablas 7 y 8 muestran una guía para la selección de tolerancias y su posición espacial en alojamientos acoplados con rodamientos radiales y axiales respectivamente.

2.1.1. Recomendaciones para el mecanizado de las superficies que acoplan con los rodamientos.

Los grados de precisión para las tolerancias de cilindridad de las superficies de ajuste del árbol o eje que acopla con el agujero interior del rodamiento y del alojamiento y para el salto axial de los resaltes que ajustan con sus superficies laterales debe ser un grado IT más ajustado que el correspondiente a las tolerancias del diámetro adyacente.

Las tolerancias de coaxialidad deberán ajustarse a la capacidad de adaptación angular del rodamiento siendo menos rigurosa en rodamientos autoalineables (a rótula),

Cuando el rodamiento soporta cargas de importancia, deberán elegirse tolerancias de forma más estrechas, que para cargas normales.

La rugosidad superficial de los asientos de los rodamientos debe adaptarse a la clase de tolerancia de los rodamientos. El valor medio de la rugosidad Rz, no deberá ser muy grande para mantener la pérdida de sobremedida en un nivel aceptable. La tabla 9 se muestra como guía para la selección de la rugosidad superficial de la zona de apoyo de los rodamientos.

Ejemplo 2.

Un rodamiento rígido de bolas 6210 con clase de precisión de fabricación normal (P0)

esta acoplado por su pista exterior de diámetro $D=80 \begin{pmatrix} 0. \\ -0.011 \end{pmatrix}$ a un alojamiento fijo y

por su pista interior de diámetro. $d=50 \begin{pmatrix} 0. \\ -0.012 \end{pmatrix}$, a un árbol que transmite el

movimiento de giro a una rueda dentada, las capacidades de carga dinámica y estática, y la velocidad límite, del rodamiento permiten su selección y uso.

- a. Especifique las condiciones de giro en que deberá funcionar el ajuste.
- b. Seleccione las zonas y grados de calidad para cada elemento de la unión.
- c. Indique los valores de rugosidad superficial de la superficie de acoplamiento.
- d. Mencione si existe necesidad de garantizar algún valor en las desviaciones de forma o posición permitidas.

Respuesta:

- a. De la Tabla 4 se reconocen las condiciones de giro, como aro interior que gira, aro exterior permanece inmóvil y el sentido de la carga permanece invariable (aunque en este caso la carga es indeterminada pues esta puede variar dinámicamente durante el funcionamiento de la rueda dentada) se recomienda un aro interior con ajuste fijo necesario a partir de las condiciones de carga: aro interior con carga puntual y exterior con carga circunferencial.
- b. Para seleccionar las zonas y grado de calidad de los elementos de la unión se utiliza la Tabla 5 que recomienda para el árbol o eje con diámetro 50 mm (hasta 100mm) que acopla con rodamientos radiales con el aro interior sometido a carga normal e indeterminada zona k y grado de calidad 6 quedando la superficie de ajuste del árbol representada como $\text{Ø}50\text{k}6$. Para el alojamiento (Tabla 7) que acopla con rodamientos radiales, carga circunferencial normal, sin exigencias de precisión de giro se recomienda zona y grado de calidad M7, representada como $\text{Ø}50\text{M}7$. Para el cálculo de los ajustes deberá tenerse en cuenta los valores de las desviaciones de la superficie del rodamiento que participa en la unión.
- c. Los valores de rugosidad de la superficie en la zona de acoplamiento se determinan de la Tabla 9 para rodamientos con clase de precisión de fabricación normal (P0) en el eje Ra 1.6 (0.4...1.6) y para la superficie del alojamiento Ra 3.2 (0.8...3.2), observe en la misma tabla que las tolerancias de mecanizado IT6 para el eje e IT7 para el alojamiento coincide con los valores seleccionados para el ajuste.
- d. En el epígrafe 2.1.1 se recomienda que los grados de precisión para las tolerancias de cilindridad de las superficies de ajuste del árbol o eje que acopla con el agujero interior del rodamiento y del alojamiento debe ser un grado IT más ajustado que el correspondiente a las tolerancias del diámetro adyacente, por lo que deberá especificarse en planos su obtención además como el rodamiento no es autoalineable deberán ajustarse las tolerancias de coaxialidad a la capacidad de adaptación angular del rodamiento el ajuste.

Conclusiones.

Con el empleo de las recomendaciones mostradas en este estudio, se logra elevar la precisión en la elaboración de elementos de máquina que esta íntimamente vinculada a la correcta selección de los valores de tolerancia y ajustes, la rugosidad superficial y las desviaciones permisibles de forma y posición.

El uso de las tablas y figuras, compiladas en la norma ISO 286 correspondientes a una institución de gran prestigio internacional, a la que nuestro país se encuentra adscrita y el empleo continuado de este método redundará en un procedimiento unificado de trabajo que aportará otros elementos de consideración relativos al tema y que en definitiva perfeccionará la calidad en la elaboración de piezas

Bibliografía.

Ahumada Zepeda, C., 2005; Rodamientos; Módulo Automatización, [on-line], descargado: enero 15 de 2010, Universidad de Atacama, (Chile), disponible en: www.etp.uda.cl/areas/electromecanica/apuntes/ahumada/pdfs/Rodamientos/af.pdf.

ISO 286-2, 2010 Geometrical product specifications (GPS) -- ISO code system for tolerances on linear sizes -- Part 2: Tables of standard tolerance classes and limit deviations for holes and shafts.

Luna, A.; Toscano, J. M.; Bernal, Y., 2006. *Cálculo automatizado de cojinetes de deslizamiento. COMEC 2006, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara (Cuba) .disponible en: <http://eventos.fim.uclv.edu.cu/comec/cd/ponen/c2/c2.48.pdf>*

Mayer, Omar E., 2006; Cojinetes de deslizamiento teórico, 3ra Edición. Universidad de Buenos Aires, (Argentina).25 pág.

Rodamientos FAG, Catálogo WL 41 520/3 SB (2002). FAG International Sales and Service GmbH Georg-Schäfer-Str. 30 · D-97421 Schweinfurt Tel. (09721) 91-0 · Fax (09721) 91 39 48, 91 33 47, www.fag.de.

Anexos.

Tabla 1 Tolerancias fundamentales en μm .

Grado de Tolerancia IT																			
Grupo de Dimensiones (mm)	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Más de 1	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
> 3 ≤ 6	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
> 6 ≤ 10	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
> 10 ≤ 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
> 18 ≤ 30	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
> 30 ≤ 50	0,6	1,0	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
> 50 ≤ 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
> 80 ≤ 120	1,0	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
> 120 ≤ 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
> 180 ≤ 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
> 250 ≤ 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
> 315 ≤ 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
> 400 ≤ 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Nota: para dimensiones hasta 1 mm no se utilizan los grados de tolerancia del 14 al 17

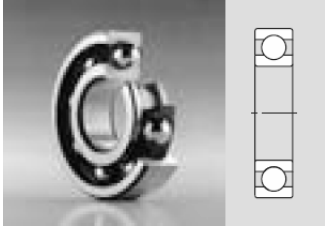
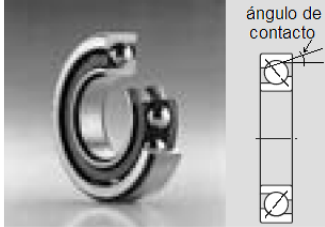
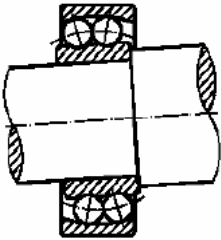
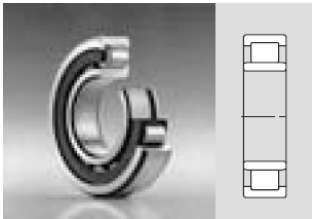
Tabla 2. Valores de las desviaciones principales o de referencia para ejes.

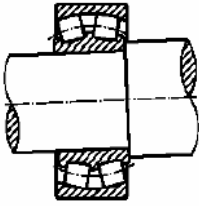
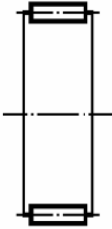
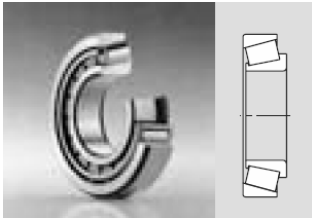
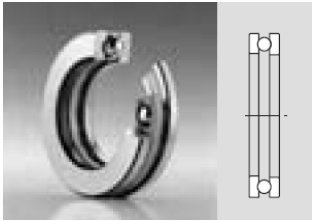
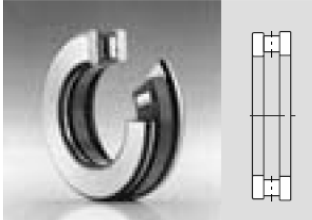
GRUPO DE DIMENSIONES (mm)	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	j5 e j6	j7	j8	k4 a k7	k ⁽¹⁾	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
0 a 1			-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	-2	-4	-6	0	0	2	4	6	10	14		18		20		26	32	40	60
> 1 ≤ 3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	-2	-4	-6	0	0	2	4	6	10	14		18		20		26	32	40	60
> 3 ≤ 6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	-2	-4		1	0	4	8	12	15	19		23		28		35	42	50	80
> 6 ≤ 10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	-2	-5		1	0	6	10	15	19	23		28		34		42	52	67	97
> 10 ≤ 14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	-3	-6		1	0	7	12	18	23	28		33		40		50	64	90	130
> 14 ≤ 18	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	-3	-6		1	0	7	12	18	23	28		33	39	45		60	77	108	150
> 18 ≤ 24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	-4	-8		2	0	8	15	22	28	35		41	47	54	63	73	98	136	188
> 24 ≤ 30	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	-4	-8		2	0	8	15	22	28	35	41	48	55	64	75	88	118	160	218
> 30 ≤ 40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0	-5	-10		2	0	9	17	26	34	43	48	60	68	80	94	112	148	200	274
> 40 ≤ 50	-320	-180	-130		-80	-50		-25		-9	0	-5	-10		2	0	9	17	26	34	43	54	70	81	97	114	136	180	242	325
> 50 ≤ 65	-340	-190	-140		-100	-60		-30		-10	0	-7	-12		2	0	11	20	32	41	53	66	87	102	122	144	172	226	300	405
> 65 ≤ 80	-360	-200	-150		-100	-60		-30		-10	0	-7	-12		2	0	11	20	32	43	59	75	102	120	146	174	210	274	360	480
> 80 ≤ 100	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0	-9	-15		3	0	13	23	37	51	71	91	124	146	178	214	258	335	445	585
> 100 ≤ 120	-410	-240	-180		-120	-72		-36		-12	0	-9	-15		3	0	13	23	37	54	79	104	144	172	210	254	310	400	525	690
> 120 ≤ 140	-460	-260	-200		-145	-85		-43		-14	0	-11	-18		3	0	15	27	43	63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800
> 140 ≤ 160	-520	-280	-210		-145	-85		-43		-14	0	-11	-18		3	0	15	27	43	65	100	134	190	228	280	340	415	535	700	900
> 160 ≤ 180	-580	-310	-230		-145	-85		-43		-14	0	-11	-18		3	0	15	27	43	68	108	146	210	252	310	380	465	600	780	1000
> 180 ≤ 200	-660	-340	-240		-170	-100		-50		-15	0	-13	-21		4	0	17	31	50	77	122	166	236	284	350	425	520	670	880	1150
> 200 ≤ 225	-740	-380	-260		-170	-100		-50		-15	0	-13	-21		4	0	17	31	50	80	130	180	258	310	385	470	575	740	960	1250
> 225 ≤ 250	-820	-420	-280		-170	-100		-50		-15	0	-13	-21		4	0	17	31	50	84	140	196	284	340	425	520	640	820	1050	1350
> 250 ≤ 280	-920	-480	-300		-190	-110		-56		-17	0	-16	-26		4	0	20	34	56	94	158	218	315	385	475	580	710	920	1200	1550
> 280 ≤ 315	-1050	-540	-330		-190	-110		-56		-17	0	-16	-26		4	0	20	34	56	98	170	240	350	425	525	650	790	1000	1300	1700
> 315 ≤ 355	-1200	-600	-360		-210	-125		-62		-18	0	-18	-28		4	0	21	37	62	108	190	268	390	475	590	730	900	1150	1500	1900
> 355 ≤ 400	-1350	-680	-400		-210	-125		-62		-18	0	-18	-28		4	0	21	37	62	114	208	294	435	530	660	820	1000	1300	1650	2100
> 400 ≤ 450	-1500	-760	-440		-230	-135		-68		-20	0	-20	-32		5	0	23	40	68	126	232	330	490	595	740	920	1100	1450	1850	2400
> 450 ≤ 500	-1650	-840	-480		-230	-135		-68		-20	0	-20	-32		5	0	23	40	68	132	252	360	530	660	820	1000	1250	1600	2100	2600

Para los ejes de las zonas a hasta h la desviación de referencia es la desviación superior. Para los ejes de j hasta zc la desviación de referencia es la desviación inferior

Para los ejes de campo js la desviación de referencia es la inferior y vale $-(0,5 \times IT)$

(1) $k \leq 3$ o $k > 7$

Tabla 3. Rodamientos de uso común		
Nombre	Esquema	Características
Rodamientos rígidos de bolas		Capaces de soportar cargas axiales, radiales o la resultante de estas cargas combinadas
Rodamientos de bolas con contacto angular		Soportan cargas radiales y axiales en un solo sentido, aunque pueden usarse combinados en posición simétrica para soportar cargas axiales en ambos sentidos
Rodamientos de bolas a rótula		El anillo interior puede oscilar sobre el anillo exterior, adaptándose automáticamente al desalineamiento que pudiera presentarse. Se utiliza cuando se prevén flexiones o desalineaciones del árbol con respecto al alojamiento del soporte. No son apropiados para aplicaciones con cargas axiales elevadas.
Rodamientos de rodillos cilíndricos		El elemento de rodadura son cilindros de acero, dispuestos en una o dos hilera. Son desmontables o desarmables. Soportan grandes cargas radiales. Baja capacidad de soporte a cargas axiales

<p>Rodamientos de rodillos cilíndricos a rótula</p>		<p>Los anillos interior y exterior pueden oscilar libremente absorbiendo el desalineamiento que pueda presentarse.</p>
<p>Rodamientos de agujas</p>		<p>Presentan como elementos rodantes unos cilindros largos denominados agujas.</p> <p>Soportan grandes cargas radiales.</p> <p>Apropiados para cuando se dispone de poco espacio y gran precisión en el centrado.</p> <p>Pueden emplearse sin aro interior.</p>
<p>Rodamientos de rodillos cónicos</p>		<p>Elevada capacidad de carga radial y axial en una sola dirección. Pueden usarse combinados en posición simétrica para soportar cargas axiales bidireccionales</p> <p>Son desmontables o desarmables facilitando el montaje</p> <p>Soportan velocidades elevadas.</p>
<p>Rodamiento axial de bola de simple efecto.</p>		<p>Son desmontables lo que facilita su instalación y ajuste.</p> <p>Soportan elevadas cargas axiales en un solo sentido.</p> <p>No resultan apropiados para trabajar a altas velocidades</p>
<p>Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos.</p>		<p>Soportan elevadas cargas axiales en un solo sentido, superior a los de rodamiento axial de bola de simple efecto.</p> <p>No resultan apropiados para trabajar a altas velocidades.</p>

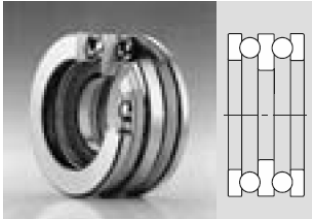
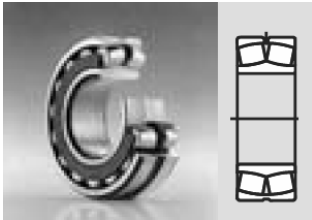
		Pueden fabricarse con rodamientos axiales de agujas
Rodamiento axial de bola de doble efecto.		<p>Soportan grandes cargas axiales en los dos sentidos.</p> <p>No admiten esfuerzos radiales</p> <p>No admiten grandes velocidades</p> <p>El plano de rodamiento ha de ser perfectamente perpendicular al plano de rotación.</p>
Rodamientos axiales de rodillos esféricos		<p>Los elementos rodantes tienen forma de tonel, dispuestos en una o dos hileras.</p> <p>Permiten flexión o desalineamiento del árbol respecto al alojamiento.</p> <p>Soportan cargas axiales grandes y moderada carga radial.</p>

Tabla 4. Diferencias de ajustes entre carga puntual y circunferencial.

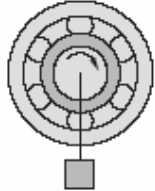
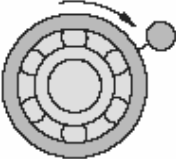
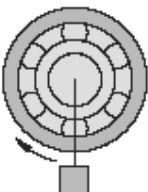
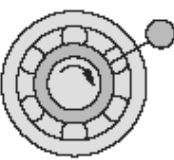
Condiciones de giro	Ejemplo	Esquema	Caso de carga	Ajuste.
<p>El aro interior gira</p> <p>El aro exterior permanece inmóvil.</p> <p>El sentido de la carga permanece invariable.</p>	Eje cargado con un peso.	 <p>Peso</p>	Carga circunferencial para el aro interior y Carga puntual para el aro exterior.	Aro interior: Ajuste fijo necesario.
<p>El aro interior permanece inmóvil</p> <p>El aro exterior gira</p> <p>El sentido de la carga gira con el aro exterior.</p>	Apoyo de un cubo de rueda con gran desequilibrio	 <p>Desequilibrio</p>		Aro exterior se permite ajuste holgado.
<p>El aro interior permanece inmóvil</p> <p>El aro exterior gira</p> <p>El sentido de la carga permanece invariable.</p>	<p>Rueda delantera de un automóvil</p> <p>Rodillo (apoyo de un cubo de rueda)</p>	 <p>Peso</p>	Carga puntual para el aro interior Y Carga circunferencial para el aro exterior	Aro interior se permite ajuste con juego.
<p>El aro interior gira</p> <p>El aro exterior permanece inmóvil.</p> <p>El sentido de la carga gira con el aro interior.</p>	Centrifuga, criba giratoria.	 <p>Desequilibrio</p>		Aro exterior ajuste fijo necesario.

Tabla 5. Tolerancias para árboles y ejes acoplados con rodamientos radiales con agujeros cilíndricos

Tipo de carga	Tipo de rodamiento	Diámetro del eje	Desplazabilidad axial Carga	Tolerancia
Carga puntual para el aro interior	Rodamientos de bola y de rodillos	Todas las dimensiones	Rodamientos libres con aro interior desplazable	g6(g5)
			Rodamientos de bolas de contacto angular y de rodillos cónicos con aros interiores ajustados	h6(g6)
Carga circunferencial para el aro interior o carga indeterminada	Rodamientos de bola	Hasta 40 mm	Carga normal	j6(j5)
		Hasta 100 mm	Carga pequeña	j6(j5)
			Carga normal y elevada	k6(k5)
		Hasta 200 mm	Carga pequeña	k6(k5)
			Carga normal y elevada	m6(m5)
		Más de 200 mm	Carga normal	m6(m5)
	Carga elevada, golpes		n6(n5)	
	Rodamientos de rodillos	Hasta 60 mm	Carga pequeña	j6(j5)
Carga normal y elevada	k6(k5)			

		Hasta 200 mm	Carga pequeña	k6(k5)
			Carga normal	m6(m5)
			Carga elevada	n6(n5)
		Hasta 500 mm	Carga normal	m6(n6)
			Carga elevada, golpes	p6
		Más de 500 mm	Carga normal	n6(p6)
			Carga elevada	p6

Tabla 6. Tolerancias para árboles y ejes acoplados con rodamientos axiales

Tipo de carga	Tipo de rodamiento	Diámetro del eje	Condiciones de servicio	Tolerancia
Carga axial	Rodamientos axiales de bolas	Todas las dimensiones		j6
	Rodamientos axiales de bolas de doble efecto	Todas las dimensiones		k6
	Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos	Todas las dimensiones		h6(j6)
	Coronas axiales de rodillos cilíndricos	Todas las dimensiones		h8
Cargas combinadas	Rodamientos axiales oscilantes de rodillos	Todas las dimensiones	Carga puntual para el aro, ajustado al eje	j6
		Hasta 200 mm	Carga circunferencial para el aro, ajustado al eje	j6(k6)
		Más de 200 mm		k6(m6)

Tabla 7. Tolerancias para alojamientos que acoplan con rodamientos radiales.			
Tipo de carga	Desplazabilidad de la carga	Condiciones de servicio	Tolerancia
Carga puntual en aro exterior	Rodamientos libres Aro exterior fácilmente desplazable	La calidad de la tolerancia depende de la precisión de giro necesaria	H7(H6)*
	Aro exterior generalmente desplazable, rodamientos de bolas de contacto angular y de rodillos cónicos con aros ajustados	Gran precisión de giro	H6(J6)
		Precisión de giro normal	H7(J7)
		Calentamientos exterior a través del eje	G7**
Carga circunferencial en aro exterior o carga indeterminada	Carga pequeña	Con elevadas exigencias de precisión de giro K6, M6, N6 y P6	K7(K6)
	Carga normal, golpes		M7(M6)
	Carga elevada, golpes		N7(N6)
	Carga elevada, golpes fuertes, alojamientos de paredes delgadas		P7(P6)

* G7 Para soportes hechos de hierro fundido, con un diámetro exterior del rodamiento D>250 mm y una diferencia de temperatura entre aro exterior y soporte >10 K.

** F7 Para soportes hechos de hierro fundido, con un diámetro exterior del rodamiento D>250 mm y una diferencia de temperatura entre aro exterior y soporte >10 K.

Tabla 8. Tolerancias para alojamientos que acoplan con rodamientos axiales

Tipo de carga	Tipo de rodamiento	Condiciones de servicio	Tolerancia
Carga axial	Rodamientos axiales de bolas	Precisión de giro normal	E8
		Precisión de giro elevada	H6
	Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos		H7(K7)
	Coronas axiales de rodillos cilíndricos		H10
	Rodamientos axiales	Carga normal	E8
		Carga elevada	G7
Carga combinada Carga puntual en el aro ajustado el alojamiento	Rodamientos axiales oscilantes de rodillos		H7
Carga combinada Carga circunferencial en el aro ajustado el alojamiento	Rodamientos axiales oscilantes de rodillos		K7

Tabla 9. Recomendaciones para la rugosidad de los asientos y la tolerancia de mecanizado.

Clases de tolerancias (tipo de rodamiento)	Asientos de rodamientos	Tolerancia mecanizado	Rugosidad superficial (μm)
P0, P6	Eje	IT6(IT5)	0.4...1.6
	Alojamiento	IT7(IT6)	0.8...3.2
P5	Eje	IT5	0.4...1.6
	Alojamiento	IT6	0.8...3.2
P4	Eje	IT4	0.2...0.8
	Alojamiento	IT5	0.4...1.6
P2	Eje	IT3	0.1...0.4
	Alojamiento	IT4	0.2...0.8