

SECCIÓN 2 - Materiales y Manufactura

Los anillos de rodadura y elementos rodantes están sometidos a las tensiones de carga en un punto muy pequeño y en el área de la línea de contacto. En consecuencia las características de los materiales, tales como la dureza, elasticidad, resistencia al desgaste y la abrasión son necesarias para el buen funcionamiento del rodamiento.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE LOS COMPONENTES DE UN RODAMIENTO

ANILLOS Y ELEMENTOS RODANTES

ACERO TEMPLADO Generalmente el acero para rodamientos es acero al cromo con alto contenido de carbono como por ejemplo la designación JIS, SUJ2, SUJ3, or SUJ5 son usados para los aros y elementos rodantes, y es equivalente al acero SAE52100. SUJ2 es el acero más común utilizado para los componentes de un rodamiento. SUJ3 tiene más manganeso y mejores características de temple que el SUJ2, de esta forma es una mejor opción para rodamientos medianos y grandes. SUJ5 está fabricado añadiendo molibdeno al SUJ3, aumentando cualidades del templado haciéndolo adecuado para secciones gruesas y componentes de rodamientos grandes. Estos aceros son normalmente seleccionados para el proceso de tratamiento térmico para obtener un producto endurecido con un nivel de dureza en un rango de 58 a 64 Rockwell C.

ACERO CEMENTADO O ENDURECIDO SUPERFICIAL Para aquellas aplicaciones que requieren rodamientos con mejor resistencia a cargas de impacto y cambios rápidos de temperatura, los aceros de cementación son utilizados. Con estos aceros se controla una atmósfera rica en carbono a través del tiempo requerido y ciclos de temperatura. Luego del temple la transformación metalúrgica es similar al de aceros endurecidos, sin embargo el resultado es un núcleo más bajo en carbono y dureza. La superficie es carburizada a un nivel máximo de dureza de 58 a 62 Rockwell C, mientras que el núcleo es más suave con dureza de 40 a 45 Rockwell. La profundidad de la dureza varía de acuerdo con el tratamiento térmico y el tamaño del componente y normalmente oscila entre 0.5 mm. a 3 mm ó 0.02" a 0.125".

ACEROS ESPECIALES En la sección de aceros especiales de este folleto, se hizo referencia a algunos materiales utilizados en estos productos para obtener un desempeño exitoso en condiciones extremas y exigentes. Los siguientes son algunos de los aceros especiales utilizados por los rodamientos **Koyo EXSEV** y sus características:

ACERO MARTENSITICO INOXIDABLE - SUS440C 60 HRC (dureza) – Utilizado en ambientes limpios o libres de contaminación.

ACERO AUSTENITICO INOXIDABLE – SUS630, 40 HRC (dureza) – Ambientes corrosivos.

ACEROS PARA HERRAMIENTAS DE ALTA VELOCIDAD – M50, 61 HRC (dureza) – Ambientes de alta temperatura.

ACEROS PARA HERRAMIENTAS DE ALTA VELOCIDAD – SKH4, 64 HRC (dureza) – Ambientes de alta temperatura.

ACERO INOXIDABLE NO MAGNÉTICO – 43 HRC HARDNESS – Para ambientes magnéticos.

SECCIÓN 2 - Materiales y Manufactura

MATERIALES DE LOS RODAMIENTOS CERÁMICOS

Los componentes de los rodamientos cerámicos tienen algunas propiedades especiales que los rodamientos de acero no tienen, como el ser no-magnéticos y tener habilidades de aislamiento. También, los materiales cerámicos son deseables por su propiedad de resistencia a altas temperaturas, además que su baja densidad reduce el peso y reduce la fuerza centrífuga causada por los elementos rodantes convirtiéndolos en una buena opción para rodamientos con operación de alta velocidad.

Los rodamientos **Koyo** cerámicos son cerámicos completos (todos los componentes) o cerámicos híbridos (solo los elementos rodantes son cerámicos). En los cerámicos híbridos los aros interno y externo están hechos de acero al cromo de alto contenido de carbono, mientras que la jaula puede ser de metal, resina, o materia compuesta dependiendo de las condiciones de operación. Aunque **Koyo** utiliza nitruro de silicio como el material estándar cerámico, existen algunos materiales cerámicos adicionales que pueden ser utilizados. A continuación se encuentran los materiales cerámicos disponibles y sus características:

NITRURO DE SILICIO - Si₃N₄ – Comparable con los rodamientos de acero en capacidad de carga y tiene buena velocidad, resistente al calor, y alta compatibilidad al vacío

RESISTENTE A LA CORROSION Si₃N₄ – Utiliza una cubierta de material diferente para mejorar la resistencia a la corrosión sin sacrificar el desempeño.

ZICONIA – ZrO₂ – Bueno para aplicaciones de cargas ligeras y es ideal para químicos de alta corrosión.

CARBURO DE SILICIO – SiC – Bueno para cargas livianas, químicos de alta corrosión y altas temperaturas de operación.

Ejemplos de uso	Ejemplos de aplicación
Alta velocidad	Husillo principal de la máquina herramienta, turbo cargador, turbina de gas, centrífuga, motor de husillo, husillos dentales, , eje torzal.
Alta resistencia a la corrosión	Equipo semiconductor, equipo enchapado, equipo compuesto de fibra, equipo de filmación óptica, equipo de drogas.
Vacío	Equipo semiconductor, aspiradora.
Resistencia al calor	Horno de tratamiento térmico, rodillo de calor, equipo médico, Instrumentos químicos de fibra.
No-Magnético	Equipo semiconductor, equipo superconductor, instalación de energía atómica.
Liviano	Cigüeñal de motos de carrera, aparatos espaciales, motores de aeronaves.
Alta rigidez	Husillo de máquina de herramienta
Aislamiento	Placas de equipo de recubrimiento, motor de tractor, motor.

CARACTERÍSTICAS

ALTA VELOCIDAD
Reducción de fuerzas centrífugas debido a bolas o rodillos livianos.

ALTA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN
Puede ser utilizado bajo condiciones especiales tales como en ácidos, alcalinos, agua salada, etc.

VACIO A GRAN ESCALA
Alta resistencia al agarrotamiento, con lubricante sólido.

RESISTENCIA AL CALOR
No se reduce la dureza ni la elasticidad bajo altas temperaturas.

NO MAGNÉTICO
Puede ser utilizado en ambientes de campos magnéticos

LIVIANO
La densidad es el 40% del acero del rodamiento

CAMBIO MINIMO EN LA DIMENSIÓN POR TEMPERATURA
Bajo coeficiente de expansión térmica lineal.

ALTA RIGIDEZ
Mayor dureza y elasticidad longitudinal, que los rodamientos de acero.

AISLAMIENTO
Deterioramiento debido a formación de arcos eléctricos puede ser prevenida.

SECCIÓN 2 - Materiales y Manufactura



Las jaulas de los elementos rodantes deben ser capaces de mantener el espacio apropiado entre ellos. Deben tener la fortaleza para soportar la fuerza centrífuga y de choque y tolerar las variaciones de temperatura y lubricación.

JAULAS PRENSADAS

Existen diferentes tipos de jaulas y varios materiales usados en la construcción de estas. Las jaulas prensadas de una o dos piezas son normalmente hechas de acero, acero inoxidable o bronce. Debido a que las jaulas prensadas de metal permiten el uso de más elementos rodantes y de mayor tamaño que los otros tipos de jaulas, son más utilizadas para la retención de los elementos rodantes.

JAULAS MAQUINADAS

Las jaulas maquinadas de uno o dos piezas son hechas de acero, bronce, aluminio, o resina fenólica. Las jaulas maquinadas son normalmente usadas para reducir el desbalance y en operaciones de alta velocidad. También son usadas en rodamientos grandes y donde se espera altas temperaturas.

JAULAS REMACHADAS

Las dos mitades de jaulas son comúnmente remachadas juntas. El remachar las mitades produce una conexión muy fuerte. Las jaulas remachadas son manufacturadas de acero, un material de bajo costo; sin embargo, para operaciones de alta velocidad el bronce es una mejor elección.

JAULAS MOLDEADAS

Los materiales típicos usados para la inyección de jaulas moldeadas son poli-acetal y poliamida (Nylon 6.6, Nylon 4.6) y polímeros que contienen flúor los cuales son reforzados con vidrio y carbón. Estos materiales han sido utilizados en rodamientos exitosamente para aquellas aplicaciones que requieren características difíciles de tener por las jaulas de acero y de otras aleaciones de metal. Las jaulas de nylon tienen un nivel de bajo torque operacional lo que las hace una buena opción para altas velocidades. También tienen una buena capacidad de desalineamiento lo que los hace menos susceptibles a la torsión y la flexión.

SECCIÓN 2 - Materiales y Manufactura

PROCESO DE MANUFACTURA DE UN RODAMIENTO

FORJADO DE ANILLOS – El proceso comienza después de la recepción de la barra de acero que es forjada en calor para fabricar el aro interno y externo.



TORNEADO DE LOS ANILLOS – Los anillos forjados son luego enviados al Centro de torneado, para ser torneados, maquinados y así lograr las formas de las partes requeridas.



TRATAMIENTO TÉRMICO – Antes que los anillos sean rectificadas, necesitan de un tratamiento térmico para proporcionar dureza, y resistencia al desgaste y a la fatiga. En esta etapa las partes son endurecidas o superficialmente carburizadas para darle la dureza Rockwell C necesaria.

Para una representación típica de la manufactura de un rodamiento, el flujo del proceso de un rodamiento de bolas que comienza con la recepción de la barra de acero hasta que termina con el empaque final para embarque, será cubierto aquí.

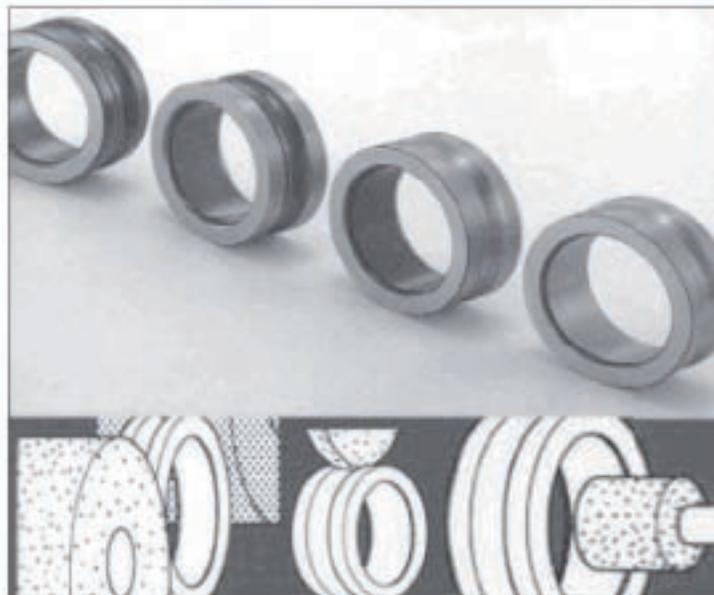
SECCIÓN 2 - Materiales y Manufactura

SUPER ACABADO FINISHING



Dependiendo del requerimiento de acabado en la superficie de los componentes, procesos como pulidos, rectificado y recubrimiento deberán ser utilizados para luego reducir las asperezas de la superficie y obtener acabados dentro de un rango de varias micro-pulgadas.

ESMERILADO – Los anillos dentro de una amoladora son rectificados en su diámetro interno, externo y pistas de rodaduras para darle a las partes terminada el tamaño y tolerancias. Concentricidad, redondez, y excentricidad son revisados en esta etapa como requerimientos para la clase y precisión.



LAVADO E INSPECCIÓN – Los anillos son lavados y limpiados en unidades automáticas ultrasónicas equipadas con filtración fina para remover hasta los residuos más pequeños de los procesos. Luego de la limpieza, las partes son revisadas para cerciorar que están libres de defectos.

SECCIÓN 2 - Materiales y Manufactura

PROCESO DE MANUFACTURA DE UN RODAMIENTO

FORMADO DE BOLAS – Bolas de 1 pulgada de diámetro o menos son formadas de cable de acero. El cable es cortado y prensado por un troquel. Bolas mayores a 1 pulgada son producidas de barras que son cortadas al tamaño apropiado y prensadas entre troqueles en frío

REBAJADO POR INUNDACIÓN – Luego de la formación, las bolas tienen una banda o rebaba de exceso de material en el centro. El exceso de material es normalmente removido por un basto esmerilado antes que las bolas puedan seguir el proceso.

RECTIFICADO EN ETAPAS – Antes que las bolas sean tratadas en calor estas son rectificadas para remover las superficies ásperas y agitadas en barriles centrífugos de alta velocidad para alcanzar una superficie suave y uniforme.

TRATAMIENTO TÉRMICO – El tratamiento térmico es realizado para asegurar que las bolas fueron endurecidas al nivel correcto desde el centro hasta la superficie.

RECTIFICADO DE BOLAS – Luego de ser tratadas térmicamente, las bolas pasan nuevamente por otro proceso de esmerilado basto antes de ser acabadas en tamaño y redondez.

SUPER- PULIDO DE LAS BOLAS – Durante el proceso de pulido, se monitorea la eliminación de exceso de material mientras las bolas son bañadas por una pasta pulidora. El pulido mejora el acabado de la superficie

LAVADO E INSPECCIÓN – Luego de lavar las bolas, se escanean visual y electrónicamente para revisar los defectos.



SECCIÓN 2 - Materiales y Manufactura



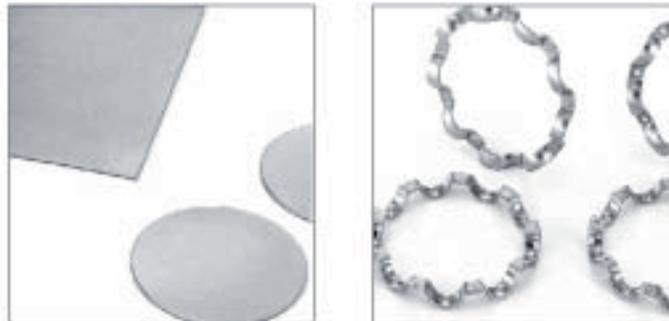
EMPAQUE DE RODAMIENTOS

– El paso final, consiste en estar seguro de que los rodamientos han sido envueltos apropiadamente y colocados dentro de su caja para asegurar que se encuentran protegidos y que están listos para su montaje y operación.



PROCESO DE MANUFACTURA DE UN RODAMIENTO

ESTAMPADO DE LA JAULA – Laminas de acero son utilizadas en un proceso de estampado para formar discos.



FORMADO DE LA JAULA – Las jaulas pasan a través de varias operaciones de prensado antes que estas sean moldeadas para darle su forma final. Se deben perforar hoyos para remaches en las jaulas de ser requeridos.

REBAJADO Y ACABADO DE LA JAULA– Las jaulas son normalmente rebajadas del exceso de material y pulidas en barriles centrífugos rotativos con la ayuda de una pasta de pulido.

INSERCIÓN DEL REMACHE – Para las jaulas que han sido perforadas con agujeros para remaches, estos son insertados antes que las jaulas sean limpiadas e inspeccionadas.



ENSAMBLAJE DEL RODAMIENTO – La pista interna es puesta dentro de la pista externa para permitir que las bolas puedan ser insertadas entre las pistas. Las bolas son luego distribuidas alrededor de las pistas para ser encajadas en las jaulas para que luego sean remachadas. El rodamiento ensamblado es nuevamente limpiado e inspeccionado. Los rodamientos que requieren ser engrasados y sellados son procesados antes de hacer las pruebas de sonido y de hacer la inspección final. De otra forma, a los rodamientos ensamblados se les hace la prueba de sonido antes de la aplicación del antioxidante.

SECCIÓN 3 - Proceso de selección de Rodamientos

CONSIDERACIONES DE APLICACIÓN SEGÚN LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN

Con el fin de seleccionar el rodamiento más apropiado para una aplicación, es muy importante entender las condiciones de operación en las que estará el rodamiento. El criterio principal para la selección de un rodamiento será cubierto en esta sección.

1. ESPACIO DE MONTAJE

Cuando una aplicación es diseñada, una consideración primaria a tomar es que el eje tenga la resistencia y rigidez adecuada. Consecuentemente, el diámetro mínimo del eje es determinado seguido de la determinación del tamaño del alojamiento permitido, peso, y materiales necesitado basados en el ambiente y las cargas. Una vez las restricciones del tamaño del eje y alojamiento son establecidos, las dimensiones adecuadas del rodamiento pueden ser definidas.

2. CARGA

Tipo de carga, magnitud y dirección de las cargas son todas importantes para escoger el rodamiento adecuado para una aplicación en particular.

Conocer el tipo de carga, combinaciones de cargas y si existen cargas de impacto en la aplicación son factores importantes en la selección de un rodamiento. Los tipos de cargas son normalmente descritos como puramente radiales (una carga perpendicular al eje) o axiales (una carga paralela al eje) y de momento o de giro (una carga fuera del rodamiento que causa un movimiento de giro en el eje).

Si el rodamiento requiere de soportar cargas radiales, existen numerosas posibilidades de rodamientos como los de bolas, rodillos cilíndricos, y cónicos. Sin embargo, si los requerimientos de carga de la aplicación son para los tres tipos de cargas, los rodamientos de rodillos cónicos, de bola de 4 puntos de contacto o posiblemente de hileras múltiples serían las únicas opciones a considerar. Por supuesto, cuando solamente hay cargas puramente axiales, existen varios tipos de rodamientos axiales que pueden ser utilizados.

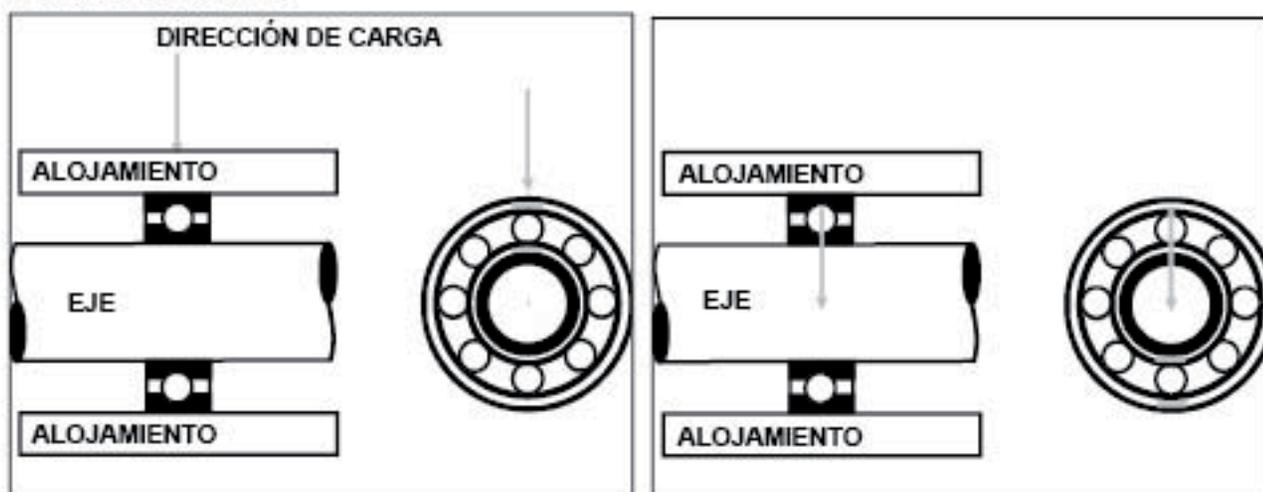
El otro aspecto de las cargas de los rodamientos que debe ser considerado al momento de escoger un rodamiento es la magnitud y dirección de las cargas. Preguntas como: podrá un rodamiento de bola de una hilera, de contacto angular, cilíndrico o cónico tener la capacidad de soportar las cargas axiales y radiales involucradas? Adicional a esto, es la carga axial solo en una dirección, o es reversible y serán requeridas varias hileras de rodamientos para soportar las cargas?

Para ayudar en la determinación de la capacidad de un rodamiento de manejar varios tipos y magnitudes de cargas, se puede hacer referencia al catálogo de **Koyo** JTEKT Ball Bearing catalog #B201E para cargas radiales y axiales básicas.

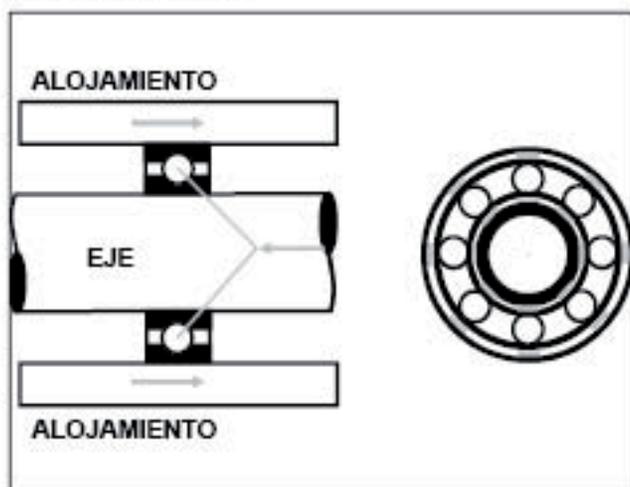
SECCIÓN 3 - Proceso de selección de Rodamientos

...CONT. CARGA

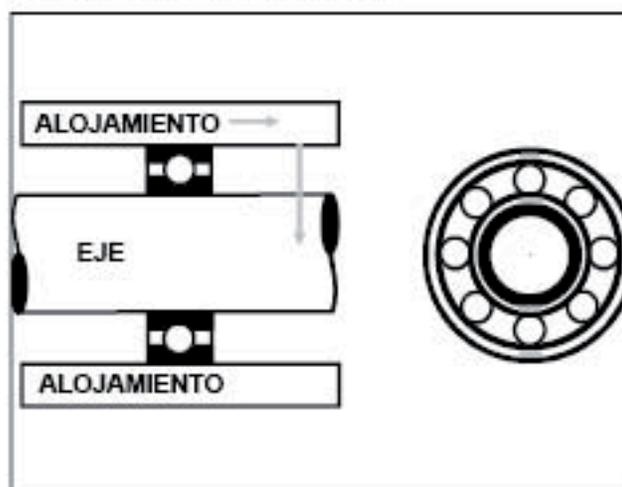
CARGA RADIAL



CARGA AXIAL



CARGA DE MOMENTO



SECCIÓN 3 - Proceso de selección de Rodamientos

Otra clasificación usada para la precisión de los rodamientos es la ABEC que significa Annular Bearing Engineers Committee. Este comité ayuda en determinar los estándares de los rodamientos para la Asociación de Fabricantes de Rodamientos Americanos (ABMA). Las clasificaciones de ABEC corresponden a las siguientes clasificaciones ISO:

3. REQUERIMIENTOS DE VELOCIDAD

Los requerimientos de velocidad son normalmente expresados en RPM's (Revoluciones por minuto). Normalmente la primera pregunta referente a la velocidad de operación es las revoluciones por minuto (RPM) máximas esperadas pero también debería ser determinado si la rotación es constante, variable, con marcha hacia atrás u oscilante. El otro aspecto de la rotación de los rodamientos es, si es el aro interno o el aro externo el aro rotacional. En la mayoría de las aplicaciones de los rodamientos rotarán el eje con el aro interno. Sin embargo, existen algunas aplicaciones como los cubos de rueda, en donde el rodamiento está montado dentro de un cubo rotacional y el aro externo es el que está en rotación. Además de afectar el tipo de rodamiento que será utilizado, consideraciones como el ajuste del aro, juego interno y requerimientos de lubricación, afectarán también la vida del rodamiento.

La velocidad límite para los rodamientos se refiere a la velocidad de rotación en la cual el rodamiento puede rotar continuamente sin un incremento excesivo en la temperatura de operación. La velocidad límite publicada para rodamientos es basada en la lubricación (aceite o grasa) y está enumerada en la tabla de especificaciones del rodamiento del catálogo **Koyo** B201E.

En general, rodamientos de bolas de un punto de contacto, como los rígidos de bolas y de contacto angular, que generan menos calor que uno de rodillos de contacto lineal, tienen la mayor capacidad de desarrollar velocidad. Sin embargo, si la capacidad de velocidad de un rodamiento es cuestionable o si la velocidad de operación de la aplicación se acerca o es mayor que la velocidad límite del rodamiento, deberá consultar con **Koyo**.

4. REQUERIMIENTOS DE PRECISIÓN

Para cada tipo de rodamiento, existen diferentes tolerancias y precisiones de funcionamiento. La precisión de dimensión y de funcionamiento de los rodamientos **Koyo** es descrita en JIS B 1514; estos estándares de JIS están basados en estándares de ISO. Las tolerancias de los rodamientos son estandarizadas clasificándolas en las siguientes seis clases en donde la precisión se va incrementando en el orden listado: 0, 6X, 6, 5, 4 y 2. La clase 0 cumple con los requerimientos para casi todas las aplicaciones, mientras que la clase 5, 4, 2 de mayor precisión para aplicaciones exigentes como husillos de máquinas de herramientas, equipo de radar, computadoras y todas las aplicaciones de alta precisión.

CLASIFICACIÓN ABEC	CLASES ISO
ABEC 1	CLASS 0
ABEC 3	CLASS 6
ABEC 5	CLASS 5
ABEC 7	CLASS 4
ABEC 9	CLASS 2

SECCIÓN 3 - Proceso de selección de Rodamientos

5. REQUERIMIENTOS DE RIGIDEZ

En aplicaciones como husillos de máquinas herramientas y ejes de automóviles, la rigidez del rodamiento puede ser un factor determinante de su conveniencia. La rigidez puede ser definida como la resistencia de un rodamiento a la deformación elástica en el punto donde los elementos rodantes tocan la superficie de la pista. Entre mayor sea la rigidez del rodamiento, mejor será la resistencia a la deformación por carga inducida. La deformación elástica es de menor preocupación en los rodamientos de rodillos de contacto lineal que los de bola de contacto puntual.

La rigidez de un rodamiento puede ser mejorada colocando una precarga o un juego interno negativo. Utilizar precarga para aumentar la rigidez es adecuado para rodamientos de contacto angular y rodamientos de rodillos cónicos. La precarga es proporcionada aplicando una carga axial para remover el juego interno en el rodamiento. La precarga adicional en el rodamiento tiene como resultado, que mayor cantidad de elementos rodantes compartan las cargas y de esta forma **augmenta** la resistencia a la deformación elástica del rodamiento.

6. CONSIDERACIONES DE DESALINEACIÓN

La desalineación del rodamiento puede ser causada por numerosas condiciones diferentes. Frecuentemente la desalineación es inducida por cargas que causarían que el eje se doble dando como resultado deflexiones angulares. La desalineación también puede ser inducida por distintos problemas de imprecisión en el maquinado de los asientos de los ejes o alojamientos.

En general, cuando haya una desalineación de ángulos mayores a 3-4 minutos se debe considerar el uso de un rodamiento de bolas autoalineable. Valores específicos de desalineación para cada tipo de rodamiento están cubiertos en las tablas **que hay antes de las** especificaciones de los rodamientos en el Catálogo de **Koyo/JTEKT** de bolas y rodillos B201E.

7. CONSIDERACIONES DE MONTAJE Y DESMONTAJE

Si la aplicación requiere de inspecciones periódicas en donde sea necesario el montaje y desmontaje de los rodamientos, la facilidad y métodos requeridos para este procedimiento deben ser tomados en cuenta para seleccionar un rodamiento. El montaje y desmontaje del rodamiento es simplificado para/en los rodamientos que utilizan pistas separables. Los rodamientos como los cilíndricos de rodillo, agujas y rodillos cónicos tienen pistas que se pueden separar y pueden ser considerados para aplicaciones en donde se requieran inspecciones frecuentes y la remoción de los mismos.

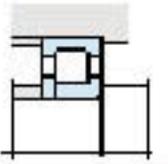
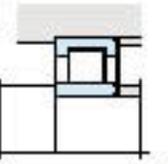
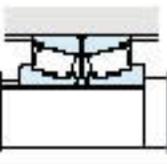
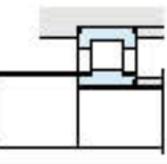
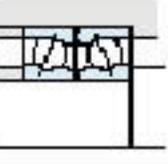
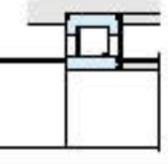
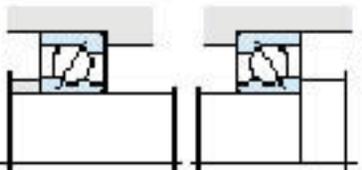
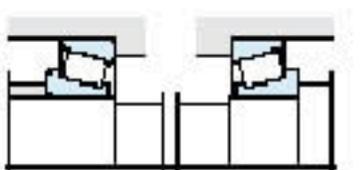
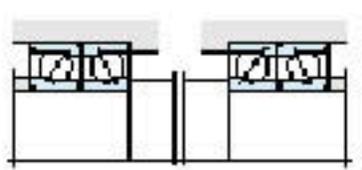
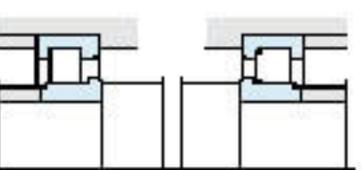
SECCIÓN 3 - Proceso de selección de Rodamientos

SELECCIÓN DEL ARREGLO DEL MONTAJE DE UN RODAMIENTO

Debido a que las condiciones de operación y los componentes de una máquina varían dependiendo de la aplicación; el rendimiento de un rodamiento y los arreglos de montaje deben ser variados. Normalmente, dos o más rodamientos son usados en un eje. Frecuentemente, con el fin de fijar el eje en una posición axial, un rodamiento deberá estar en una posición fija, con el otro rodamiento montado en una posición libre o flotante. Sin embargo, dependiendo de la longitud del eje y el espacio entre los rodamientos, dos rodamientos de rodillos cónicos o dos pares de rodamientos de contacto angular pueden ser montados cara a cara o espalda con espalda sin un lado libre debido a aunque podría ocurrir un pequeño incremento de la temperatura o un encogimiento con una corta distancia

Como fue descrito arriba, el lado fijo del rodamiento fija al eje en forma axial, así como también es posicióna el rodamiento quien carga cualquier carga axial que esté presente. El rodamiento del lado libre flotará y permitirá al eje expandirse o contraerse en dirección axial, debido a los cambios de temperatura operacionales; de esta forma se asegurara mantener el juego interno de operación apropiado. Debajo, en los ejemplos 1-4, se muestran varios diseños diferentes de montajes de arreglos fijos o libres.

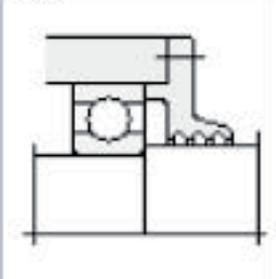
SECCIÓN 3 - Proceso de selección de Rodamientos

Ex. 1		Ex. 2	
LADO FIJO	LADO LIBRE	LADO FIJO	LADO LIBRE
			
Bola rígida	Rodillo Cilíndrico	Rodillo Cilíndrico	Rodillo Cilíndrico
Ex. 3		Ex. 4	
LADO FIJO	LADO LIBRE	LADO FIJO	LADO LIBRE
			
Rodillo cónico	Rodillo Cilíndrico	Bola de contacto Angular	Rodillo Cilíndrico
<p>Para aquellas aplicaciones donde la expansión y contracción del eje no es una preocupación ejemplos 5-8 son montajes donde un rodamiento libre o flotante no es necesario:</p>			
Ex. 5		Ex. 6	
			
Bola de contacto Angular		Rodillos cónicos	
Ex. 7		Ex. 8	
			
Bola de contacto Angular		Rodillos cilindricos	

SECCIÓN 3 - Proceso de selección de Rodamientos

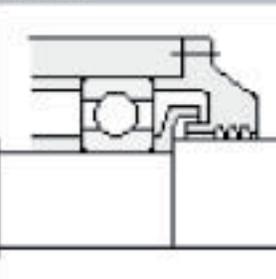
Dispositivos de sellado

Ex. 9



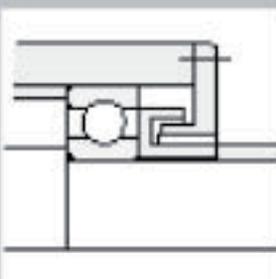
Diseño de ranuras

Ex. 10



Diseño de brida

Ex. 11



Diseño laberíntico

CONSIDERACIONES DEL DISEÑO DEL EJE Y ALOJAMIENTO

Cuando el eje y el alojamiento son diseñados, consideraciones especiales deben ser tomadas en cuenta para los apoyos y las dimensiones de montaje de las superficies y los componentes que serán utilizados para colocar el rodamiento. Los siguientes son algunas consideraciones de diseño para la colocación apropiada del rodamiento:

1. Las paredes del eje y del alojamiento que soportan el rodamiento necesitan ser lo suficientemente extensas para prevenir deflexiones excesivas del rodamiento.
2. El acabado de las superficies del eje y alojamiento deben ser los necesarios para obtener la precisión y ajuste requerido.
3. Los hombros del eje y alojamiento necesitan tener las dimensiones específicas para el soporte adecuado del anillo interno y externo.
4. El respaldo de los hombros deben ser perpendiculares a la línea de centro del eje y alojamiento para evitar desalineamientos en el rodamiento.
5. Los radios de los respaldos de los hombros tienen que ser más pequeños que el tamaño del bisel del rodamiento para asegurar un soporte plano o asentamiento en los anillos del rodamiento.
6. Los extremos de los ejes y alojamientos para presionar los anillos deben ser biselados para un montaje más fácil.

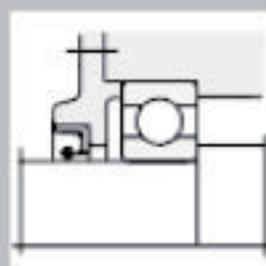
DISPOSITIVOS DE SELLADO

Los dispositivos para sellar no solo evitan que se filtre material externo dentro de las cavidades del rodamiento sino que también evitan que el lubricante se fugue del interior del mismo. Además, cuando un sello es seleccionado es importante considerar las condiciones de operación de la aplicación y el tipo de lubricante que se utilizará. Los sellos pueden ser diseñados con contacto o sin contacto. Un diseño sin contacto incluye ranuras de engrase, bridas, y estilos laberínticos que sin tener un punto de contacto no obstruye la operación ni calientan la aplicación. Los sellos sin contacto utilizan juegos internos estrechos y fuerzas centrífugas y son adecuados para operaciones de alta velocidad para minimizar la temperatura de operación. Ejemplos de sellos sin contacto son mostrados en la figura:

SECCIÓN 3 - Proceso de selección de Rodamientos

Otro medio eficaz para el sellado es mediante el uso de sellos de goma el cual tiene al menos un labio con contacto. Estos sellos generalmente son manufacturados de caucho sintético, resina sintética. Los sellos de goma pueden ser utilizados con grasa o aceite. Cuando se espera un ambiente de operación sucio, este tipo de sello puede ser proporcionado con un segundo labio o un labio menor de sellado que actúa para prevenir la entrada de contaminantes. Para información adicional o selección de sellos de contacto, vea el catálogo **Koyo** JTEKT No. R2001E en Sellos de aceite y Anillos-O. Debajo hay un ejemplo de un diseño de sello de contacto de aceite:

Ex. 12



Diseño de sello de aceite con un labio de contacto.

VIDA ÚTIL DE UN RODAMIENTO

Cuando los rodamientos operan bajo cargas y sujetos a contactos repetitivos de esfuerzo, eventualmente esto ocasionará que haya desprendimiento del material de la pista o descascarillado. El número total de revoluciones hasta que el descascarillado ocurra se le llama la vida útil de un rodamiento. La vida útil de un rodamiento varía dependiendo del diseño, tamaño y material de manufactura y condiciones de operación.

Si un grupo de rodamientos iguales giran bajo las mismas condiciones, el número total de revoluciones hasta que el 10% de los rodamientos muestren daño por desprendimiento o descascarille se le define como la vida útil promedio o vida "L10". Esta vida útil promedio puede ser expresada en términos de tiempo siempre y cuando la velocidad de rotación sea constante.

El cálculo de la vida útil de un rodamiento es normalmente utilizado para la escogencia de un rodamiento para una aplicación particular. Sin embargo, otros factores y efectos en el ambiente pueden causar daños prematuros y una reducción en la vida útil del rodamiento. Factores como el montaje inadecuado de un rodamiento, métodos de lubricación y tipo, ajustes del anillo interno y externo y un juego interno incorrecto para las condiciones de operación esperada, pueden disminuir la vida de un rodamiento.

CAPACIDAD DE CARGA DINÁMICA BÁSICA

La capacidad de carga dinámica básica de un rodamiento puede ser puramente radial para rodamientos radiales o puramente axial para rodamientos axiales que tengan una fuerza o magnitud en la misma dirección, que les dará una vida útil promedio de 1 millón de revoluciones a 33 1/3 rpm de rotación del aro interno. La capacidad de carga dinámica para rodamientos radiales se les llama el valor "Cr" y la capacidad de carga dinámica de los rodamientos axiales se les llama valor "Ca". La capacidad de carga dinámica puede ser encontrada en el Catálogo de Bolas y rodillos de **Koyo** JTEKT.

SECCIÓN 3 - Proceso de selección de Rodamientos

CARGA DINÁMICA RADIAL EQUIVALENTE

Los rodamientos son usados bajo varias condiciones de operación que frecuentemente incluyen cargas tanto radiales como axiales. Con el fin de calcular la vida de un rodamiento con cargas combinadas axiales y radiales, es necesario calcular una carga dinámica radial equivalente. La carga dinámica radial equivalente es definida como una carga radial que tendrá la cual dará la misma vida útil que las cargas combinadas. La carga radial equivalente (P) es calculada dándole factores de ajuste (X y Y) a las cargas radiales y axiales aplicadas. Estos factores varían dependiendo del tipo de rodamiento, ángulo de contacto y magnitudes de las cargas. Las ecuaciones y factores de ajuste de la carga radial equivalente pueden ser encontradas en la sección de rodamientos del catálogo **Koyo** /JTEKT de bolas y rodillos.

CÁLCULO DE LA VIDA ÚTIL DINÁMICA DE UN RODAMIENTO

La vida útil dinámica de un rodamiento puede ser expresada usando la siguiente ecuación (3-1) la cual toma en cuenta la capacidad de carga dinámica básica y la capacidad de carga dinámica equivalente del rodamiento. Esta ecuación puede ser modificada para mostrar la vida teórica de un rodamiento en términos de tiempo u horas (3-2), o en términos de distancia recorrida o km (3-3):

$$\text{(Revoluciones totales)} L_{10} = (C/P)^p \quad (3-1)$$

$$\text{(Tiempo)} L_{10h} = 10^6 (C/P)^p / 60n \quad (3-2)$$

$$\text{(Distancia recorrida)} L_{10k} = \pi D L_{10} \quad (3-3)$$

Donde,

L_{10} = vida útil promedio 10^6 (revoluciones)

L_{10h} = vida útil promedio h (horas)

L_{10k} = vida útil promedio km (kilometraje)

P = Carga dinámica equivalente N

D = diámetro de la rueda o goma mm

C = Capacidad de carga dinámica básica N

n = velocidad de rotación r/min

p = para bolas p = 3

p = para rodillos p = 10/3

CORRECCIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA DINÁMICA

En ambientes de altas temperaturas, la dureza del material del rodamiento se deteriora debido a que la composición del mismo es alterada. Consecuentemente, la capacidad básica dinámica de carga ya no es una buena predicción de la vida del rodamiento. Una vez la composición del material es alterada, no se recuperará ni aunque las temperaturas de operación regresen a las normales. Por consiguiente, para rodamientos operando en ambientes de alta temperatura, la capacidad de carga dinámica básica debe ser reducida de acuerdo a las temperaturas de operación esperadas. La capacidad de carga dinámica esperada debe ser reducida para altas temperaturas de acuerdo a los factores de la tabla a continuación:

Sabias que:

KOYO ofrece asistencia telefónica totalmente gratis: Llámanos si necesitas ayuda con:

Equivalencias

Instrucciones de montaje

Grados de precisión

Especificaciones de aplicaciones

Vida útil de rodamientos

Capacidad de carga

o cualquier información técnica

SECCIÓN 3 - Proceso de selección de Rodamientos

Valores de factores de ajustes de temperatura

Temperatura del rodamiento C/F	125°/260°	150°/300°	175°/350°	200°/380°	250°/480
Factor de ajuste de temperatura	1	1	0.95	0.90	0.75

CORRECCIÓN DEL CÁLCULO DE LA VIDA NOMINAL UN RODAMIENTO

Como se ha señalado previamente, la vida esta expresada usando un factor de confianza de 90% o L_{10} . Para seleccionar un rodamiento que tenga mayor nivel de confianza del esperado, utilizando la ecuación, varios factores de ajustes pueden ser aplicados a la vida L_{10} para dar un valor nominal de vida corregido o una vida "Lna":

$$Lna = a_1 a_2 a_3 L_{10}$$

a1: factor de confiabilidad (confianza)

a2: factor del material (características) del rodamiento

a3: factor de características de operación

- a2 – este factor puede ser mayor que 1 para rodamientos hechos con materiales especiales para extender la vida del rodamiento

Confiabilidad %	Definición de vida	a_1
90	L_{10}	1
95	L_5	0.62
96	L_4	0.53
97	L_3	0.44
98	L_2	0.33
99	L_1	0.21

- a3 – bajo condiciones normales de lubricación el cálculo puede ser hecho con $a_3=1$, con lubricación favorable a_3 puede ser mayor que 1. Bajo condiciones pobres o marginales de lubricación a_3 puede ser menor que 1.
- L_{10} capacidad de vida básica (90% de confiabilidad)

SECCIÓN 3 - Proceso de selección de Rodamientos

CAPACIDAD DE CARGA ESTÁTICA BÁSICA

La capacidad de carga estática se define como el nivel de carga estática o de impacto que cuando es aplicada a un rodamiento estacionario produce una deformación en las pistas. La cantidad deformada tiene que ser suficiente para tener efecto en la rotación suave y el rendimiento del rodamiento y debe ser aproximadamente 1/1000 del diámetro del elemento rodante como fue determinado por los estándares de ISO. La capacidad de carga estática básica es la carga estática que corresponde al esfuerzo de contacto calculado mencionado debajo:

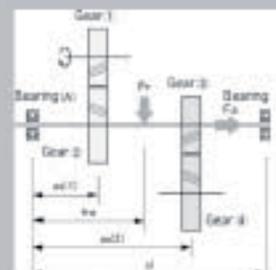
RODAMIENTOS DE BOLA AUTOALINEABLE =	46000 Mpa
OTROS RODAMIENTOS DE BOLA =	42000 Mpa
RODAMIENTOS DE RODILLOS =	40000 Mpa

La capacidad de carga estática para rodamientos radiales es especificada como la capacidad de carga radial estática o valor "Cor" y para rodamientos axiales como la capacidad de carga axial estática o el valor "Coa". Estos valores son mencionados en las tablas de especificación del Catálogo de rodamientos de bolas y rodillos **Koyo**.

DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS DE LA CARGA DE UN RODAMIENTO

La carga que afecta a los elementos rodantes puede ser de varias fuentes, desde una carga de peso de un objeto, hasta la transmisión de fuerzas por engranajes, cadenas, correas, hasta cargas de impacto en uso de equipo de construcción. Dependiendo de la aplicación y ambiente de operación, un análisis de carga de momento estático únicamente no podrá ser un reflejo preciso de la carga y vida del rodamiento. Consecuentemente, debido a las fluctuaciones de cargas en frecuencia y magnitud, los posibles efectos de vibración y cargas de impacto, es eventualmente necesario el multiplicar el valor de la carga teórica por un coeficiente de carga. Para las cargas de engranajes mostradas en la ilustración de la izquierda, el valor de los coeficientes del engranaje será entre 1.0 y 1.1 para engranajes de precisión y de 1.1 a 1.3 para engranajes estándares.

DIAGRAMA DE TRANSMISIÓN DE CARGA DE UN EJE DE ENGRANAJE



Se puede hacer referencia en la sección de selección de un rodamiento en el Catálogo de Bolas y Rodillos **Koyo** para la tabulación del coeficiente de carga para varias aplicaciones y cálculos de capacidad de cargas de rodamientos.

SECCIÓN 3 - Proceso de selección de Rodamientos

CONSIDERACIONES DE LÍMITE DE VELOCIDAD

La velocidad de trabajo de un rodamiento está totalmente limitada a causa del calor acumulado en él, y esta cantidad de calor producido está relacionado principalmente a la fricción. Como fue mencionado anteriormente bajo "Condiciones de operación de la Aplicación", la velocidad límite de un rodamiento se refiere a la velocidad en la cual el rodamiento puede rotar continuamente sin un aumento excesivo de la temperatura. Cuando un rodamiento sellado con contacto esta operando, la velocidad de rotación es limitada por dos factores adicionales; la velocidad de la superficie de contacto del sello y las características de resistencia al calor de la grasa utilizada.

La velocidad límite de un rodamiento varía dependiendo del rodamiento utilizado, dimensiones, precisión, método de lubricación, propiedades y cantidad de lubricante, tipo y material de la jaula, y condiciones de carga.

La velocidad límite para cada rodamiento es basada en el tipo de aceite o grasa utilizada para la lubricación.

La velocidad límite publicada aplica bajo condiciones normales de operación de carga ($C/P \geq 13$, $Fa/Fr \geq \text{aprox. } 0.25$).

C: capacidad de carga dinámica básica	= N
P: carga dinámica equivalente	= N
Fr: carga radial	= N
Fa: carga axial	= N

Si un rodamiento se considera que va a utilizarse, operado cerca o más allá de su velocidad límite, se deben considerar los siguientes puntos:

1. Uso de rodamientos de alta precisión.
2. Estudio del juego interno apropiado (Una reducción en el juego interno debido al incremento en la temperatura debe ser considerada).
3. Selección de la jaula apropiada y materiales (para altas temperaturas, aleaciones de cobre o jaulas de resina fenólica maquinada son adecuadas).
4. Selección de un sistema lubricante para alta velocidad tales como lubricación de aceite forzado, inyección de aceite, niebla de aceite y lubricación de aire/aceite junto con consideraciones apropiadas de lubricación como la viscosidad apropiada.

SECCIÓN 4 -TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

CLASES DE TOLERANCIAS DE UN RODAMIENTO

Debido a que los requerimientos de tolerancia y precisión de la aplicación varían, las empresas que manufacturan rodamientos producen rodamientos variando el grado de precisión y tolerancia. Los requerimientos de precisión son típicamente mayores para aplicaciones como husillos de máquinas herramienta, antenas de radares, computadoras, instrumentos de medida de precisión. La mayoría de las aplicaciones automotrices, equipo de construcción, equipo de agricultura, motores eléctricos, y otras aplicaciones generales no requieren de altos controles de precisión y tolerancia.

Las clasificaciones de tolerancias para rodamientos fueron descritos brevemente en la sección 3 "Requerimientos de Precisión". Se mencionó que los estándares de la JIS son basados en las "clases" de ISO las cuales aumentan en orden de precisión desde 0, 6X, 6, 5, 4 a 2. El cuadro debajo muestra los varios tipos de rodamientos y los estándares y clases correspondientes. También están listados las designaciones de clases para las organizaciones de estándares JIS (The Japan Bearing Industrial Association) y la ABMA (American Bearing Manufacturers Association):

Las organizaciones de estándares de rodamientos y las clases de tolerancias aplicadas controlan el tamaño del límite de la tolerancia para toda la estructura del rodamiento como agujeros, diámetros, ancho del anillo externo e interno, dimensiones del radio bisel, y tolerancias del agujero cónico. También los requerimientos de precisión del rodamiento tales como desviación radial y axial del rodamiento ensamblado y los anillos individuales, perpendicularidad de las caras de los anillos y superficies externas. Todas estas tablas de tolerancias son cubiertas en el Catálogo de rodamientos de bolas y rodillos **Koyo** JTEKT.

Tipo de rodamiento		Estándares Aplicados	Clases de Tolerancias Aplicadas					
Rígido de bolas		JIS B 1514	Clase 0	-	Clase 6	Clase 5	Clase 4	Clase 2
Rod. de bolas contacto angular			Clase 0	-	Clase 6	Clase 5	Clase 4	Clase 2
Rod. de bolas autoalineable			Clase 0	-	-	Clase 5	-	-
Rod. de rod esféricos			Clase 0	-	-	Clase 5	-	-
Rod. de rod cilíndricos			Clase 0	-	Clase 6	Clase 5	Clase 4	Clase 2
Rod. de agujas (de aros maquinados)			Clase 0	-	Clase 6	Clase 5	Clase 4	-
Rod. de rod. Cónicos	Serie métrica (una hilera)	JIS B 1514	Clase 0	Clase 6X	Clase 6	Clase 5	Clase 4	-
	Serie métrica (doble hilera)	BAS 1002	Clase 0	-	-	-	-	-
	Serie de pulg	ABMA	Clase 4	-	Clase 2	Clase 3	Clase 0	Clase 00
	Serie métrica (serie-J)		Clase PK	-	Clase PN	Clase PC	Clase PB	-
Rod. de rodillos axiales			Clase 0	-	Clase 6	Clase 5	Clase 4	-
Rod. de rod. esféricos axiales		JIS B 1514	Clase 0	-	-	-	-	-

SECCIÓN 4 - TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

EJE DEL RODAMIENTO Y AJUSTE DEL ALOJAMIENTO

Comprender el ajuste del rodamiento y determinar la práctica correcta para un rodamiento en particular son consideraciones muy importantes para asegurar que un rodamiento alcanzará su vida de servicio y proporcionará una operación satisfactoria al equipo.

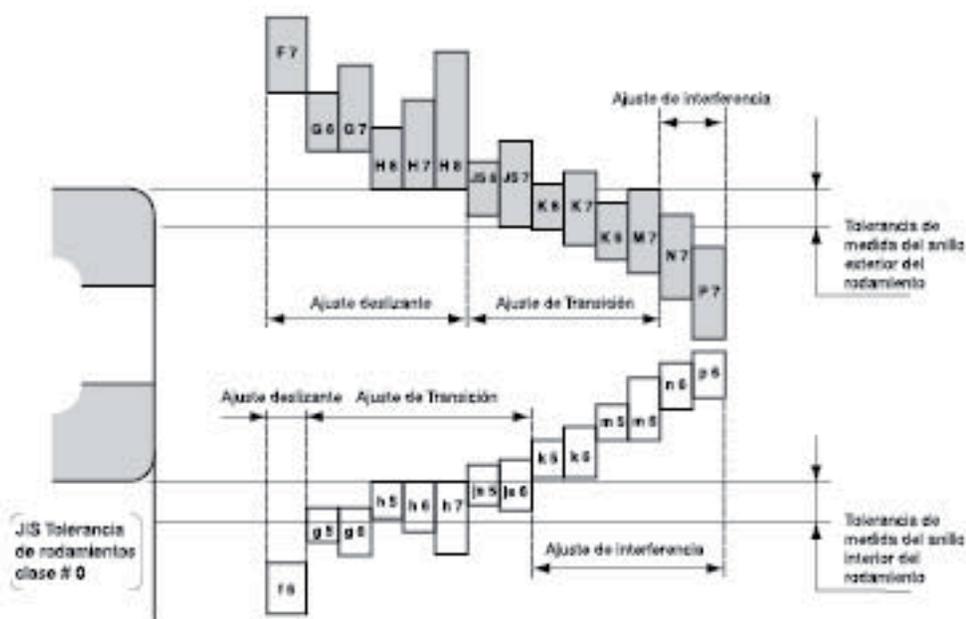
PROPÓSITO DEL AJUSTE DEL RODAMIENTO

El propósito del ajuste de un aro interno o externo en un eje o en un alojamiento es el de prevenir el patinado o giro del aro ajustado. El deslizamiento del rodamiento tendrá un efecto perjudicial en la operación del rodamiento. Puede causar generación excesiva de calor, desgaste, contaminación del rodamiento, vibración, problemas de desalineamiento. Consecuentemente, es necesario el asegurar que un aro de rodamiento que esté rotando bajo una carga tenga el ajuste apropiado.

No es siempre necesario para un rodamiento el tener un ajuste de interferencia. El requerimiento primordial para un ajuste de interferencia es normalmente determinado si el anillo es el que gira o es el estacionario. Sin embargo, existen consideraciones adicionales que serán cubiertas para determinar si un ajuste de interferencia es necesario y la magnitud del ajuste.

DESIGNACIONES DE AJUSTES ISO

Adicionalmente al ajuste de interferencia existen dos otras clasificaciones de ajustes; a estas se les llama "ajuste con juego" o ajuste deslizante y "ajuste de transición" que puede ser ajustado o ligeramente flojo. Debido a que **Koyo** y todos los fabricantes de rodamientos siguen los ajustes designados por ISO, un sistema consistente es proporcionado a través de la industria del rodamiento. Los ajustes correctos para un rodamiento pueden ser seleccionados solo si la tolerancia del eje y del alojamiento fueron seleccionados correctamente. La designación de la tolerancia está representada por una letra y un número. Las designaciones que utilizan letras mayúsculas son para ajustes de alojamientos mientras que los que utilizan letras minúsculas son para ajustes en ejes e indican la localización de la tolerancia mientras que el número representa la magnitud de la tolerancia. La ilustración debajo muestra la relación entre la tolerancia de las designaciones de ISO para los diámetros de los ejes/alojamientos y la categoría resultante del ajuste:

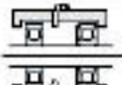


SECCIÓN 4 -TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

CONSIDERACIONES DE SELECCIÓN DE AJUSTE

Como fue mencionado anteriormente, existen otras condiciones de operación a considerar además de saber que aro estará rotando al tratar de determinar el ajuste apropiado a utilizar. Las condiciones de operación que deben ser consideradas al determinar el ajuste del aro de un rodamiento son:

- Características de la carga
- Magnitud de la carga
- Efectos de temperatura
- Efecto en el juego interno del rodamiento
- Acabado de la superficie del eje
- Material del eje y el alojamiento y el espesor de la sección
- Diseño de montaje y consideraciones de aprieto u holgura
- Tipo y tamaño del rodamiento

Patrón de rodaje	Dirección de carga	Condiciones de carga	Ajuste		Aplicaciones típicas
			Aro interno y eje	Aro externo y alojamiento	
 Aro interno: Rotante Aro externo: Estacionario	 Estacionario	Aro interno rotante Aro externo estacionario	Ajuste de interferencia necesario (k,m,n,p,r)	Ajuste de juego aceptable (F,G,H,JS)	Transmisiones motores
 Aro interno: Estacionario Aro externo: Rotante	 Rotando con Aro externo				Ruedas desbalanceadas
 Aro interno: Estacionario Aro externo: Rotante	 Estacionario	Aro interno estacionario Aro externo rotante	Ajuste de juego aceptable (f,g,h,js)	Ajuste de interferencia necesario (K,M,N,P)	Ruedas rodantes y poleas con eje estacionario
 Aro interno: Rotante Aro externo: Estacionario	 Rotando con Aro Interno				Cribas vibratorias

SECCIÓN 4 -TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

EFFECTO DE MAGNITUD DE LA CARGA

Cuando una carga radial es aplicada al rodamiento, el aro interno se expandirá un poco reduciendo el ajuste de interferencia inicial. La disminución en el ajuste de interferencia puede ser calculada usando la siguiente ecuación:

(cuando $F_r \leq 0.25 C_0$)	(cuando $F_r \geq 0.25 C_0$)
$\Delta d_i = 0.08 \sqrt{d F_r / B} \times 10^{-3}$	$\Delta d_i = 0.02 \sqrt{(F_r / B)} \times 10^{-3}$

Donde:

- Δd_i : reducción de la interferencia del aro interno en mm
- d: diámetro del agujero del rodamiento en mm
- B: ancho del aro interno en mm
- F_r : carga radial N
- C_0 : capacidad de carga estática básica N

Además, cuando la carga radial excede el valor del C_0 por más del 25%, un ajuste de interferencia mayor debe compensar la cantidad reducida. También, un juego de interferencia mayor se requerirá para compensar el efecto de cualquier choque de carga que pueda ocurrir.

EFFECTOS DE TEMPERATURA

Un rodamiento normalmente tiene una temperatura de operación mayor a la de su ambiente. Cuando un aro interno opera bajo carga, su temperatura será más alta que la del eje dando como resultado una disminución en el ajuste de interferencia debido a la expansión térmica del aro. Pruebas han demostrado que la diferencia de temperatura entre el aro interno y el eje es de 10 a 15% menor que la temperatura interna del rodamiento y alrededor del alojamiento. La reducción en el ajuste de interferencia debido a la expansión térmica puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$\Delta d_i = (0.10 \text{ to } 0.15) \Delta_t a d \approx 0.0015 \Delta_t d \times 10^3$$

Donde:

- Δd_i : reducción en la interferencia debido a la diferencia en temperatura en mm
- Δ_t : diferencia de temperatura entre el interior del rodamiento y los alrededores del alojamiento ($^{\circ}\text{K}$)
- a: coeficiente de expansión lineal del acero del rodamiento ($\approx 12.5 \cdot 10^{-6}$) 1°K
- d: diámetro del agujero del rodamiento en mm

Igualmente, cuando un rodamiento está operando a temperaturas mayores a las del eje, puede ser necesario aumentar el ajuste de interferencia.

SECCIÓN 4 -TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

EFFECTO EN EL JUEGO INTERNO

El efecto del ajuste de interferencia en el juego interno del rodamiento también se debe tener en consideración. El ajuste de interferencia expande el aro interno, mientras que el ajuste de interferencia del aro externo lo comprimirá. Ambas condiciones darán como resultado una pérdida en el juego interno del rodamiento. Este punto será cubierto en más detalle en la sección de JUEGO INTERNO DE UN RODAMIENTO Y PREGARGA.

ACABADO DE LAS SUPERFICIES EN CONTACTO

Un acabado máximo de rugosidad de 63 micro pulgadas (1.6 Ra) en la superficie, es requerido para la mayoría de los aros internos grandes mientras que un máximo de 32 micro pulgadas (.8 Ra) deberá ser utilizado en rodamientos pequeños. El agujero del alojamiento puede tener un rango de acabado de 63 a 125 micro pulgadas (de 1.6 a 6.1 Ra). Hay situaciones donde un mejor acabado en la superficie es requerido como cuando un sello de goma está en contacto con la misma superficie y necesitará un acabado de 16 micro pulgadas o mejor. También un rodamiento de agujas que utiliza la superficie del eje como su aro interno deberá tener un acabado de superficie con un rango de 8 a 15 micro pulgadas (.2 a .4 Ra).

La "interferencia efectiva" obtenida luego de que el aro de un rodamiento haya sido colocado en un eje o en un alojamiento es diferente de la original calculada debido a la deformación de la superficie ajustada. Si una superficie de acabado rugoso o un eje torneado es utilizado, puede dar como resultado desgaste excesivo en los asientos y problemas de deslizamiento. Además, puede ser necesario el utilizar ajustes de interferencia mayores para prevenir el desgaste relacionado a ejes torneados. La interferencia efectiva actual puede ser calculada para determinar su adecuación a alguna condición de operación en particular.

(En caso de un eje rectificado) $\Delta d_{\text{ef}} \cong \Delta d d/(d + 2)$

(En caso de un eje torneado) $\Delta d_{\text{ef}} \cong \Delta d d/(d + 3)$

Donde:

Δd_{ef} : interferencia efectiva en mm.

Δd : interferencia calculada en mm.

d: diámetro del agujero del rodamiento en mm.

SECCIÓN 4 -TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

MATERIALES Y ESPESOR DEL EJE Y ALOJAMIENTO

Para ejes huecos y alojamientos con secciones delgadas que usan un aro con ajuste de interferencia se requerirá una interferencia mayor a la que normalmente debería ser utilizada para obtener la misma fuerza de agarre que un eje sólido y un alojamiento grueso. Además, debido a que el aluminio tiene un mayor coeficiente de expansión térmica, que es dos veces mayor que el de los rodamientos, se requiere de un trato especial para asegurar el ajuste adecuado a la temperatura de operación. **Koyo** deberá ser consultado para información adicional y ayuda en determinar la práctica de ajuste apropiado.

DISEÑOS DE MONTAJE Y CONSIDERACIONES DEL LADO FIJO Y LADO FLOTANTE

Una consideración para el diseño de montaje que se debe tomar en cuenta es si el rodamiento será montado en un lado fijo o libre. Normalmente, debido a que es el anillo externo del lado libre el que lleva holgura y también es el anillo estacionario, un ajuste con juego amplio debe utilizarse para asegurar que el aro esté libre para deslizarse bajo condiciones de carga. El aro externo del lado fijo también puede montarse con un ajuste con juego pero no debe ser tan amplio porque podría ser desplazado por cargas axiales.

Para aquellas aplicaciones que utilizan rodamientos de rodillos cónicos o de bolas de contacto angular, otra consideración de diseño de montaje al seleccionar un ajuste es si el aro es ajustable o no. Un aro ajustable requiere de un ajuste con un juego adecuado para permitir que este se desplace axialmente.

TIPO Y TAMAÑO DE RODAMIENTO

Los requerimientos de ajuste varían dependiendo del tipo del rodamiento y su tamaño. El espesor, diseño y tamaño, indican qué los esfuerzo por contacto son el resultado de un ajuste de interferencia y también cual sería el juego de ajuste permitido. Además, para prevenir daños y fracturas en los aros del rodamiento, es necesario cambiar las prácticas de ajuste. **Koyo** JTEKT ha publicado varias tablas de ajustes para utilizar como una guía general para varios tipos y tamaños de rodamientos. Muchos ejemplos de estas tablas de prácticas de ajustes para rodamientos radiales y cónicos son cubiertos aquí. Para completar la cobertura de los ajustes recomendables para otro tipo de rodamiento y clases, referirse al Catálogo **Koyo** de bolas y rodillos.

SECCIÓN 4 -TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

AJUSTES EN EJES RECOMENDADOS PARA RODAMIENTOS RADIALES

Condiciones		Rodmto. de bolas		Rodmto. de rod cilíndricos Rod de rod Cónicos		Rodamientos de rod esféricos		Clase de tolerancia del eje	Comentarios
		Diámetro del eje							
		Más	Hasta	Más	Hasta	Más	Hasta		
Carga rotante en aro interno o dirección de carga indeterminada	Carga liviana o carga fluctuante $P/C \leq 0.06$	-	18	-	-	-	-	h5	Para aplicaciones que requieren alta precisión, js5, k5 y m5 deben ser usadas en lugar de js6, k6 y m6.
		18	100	-	40	-	-	js6	
		100	200	40	140	-	-	k6	
		-	-	140	200	-	-	m6	
	Carga normal $0.06 < P/C \leq 0.12$	-	18	-	-	-	-	js5	Para rodmtos. de rod cónicos y rodmtos. de bolas de contacto angular de una hilera, k5 y m5 deben ser reemplazados por k6 y m6, por reducción en el juego interno debido a que no se consideró el ajuste.
		18	100	-	40	-	40	k5	
		100	140	40	100	40	65	m5	
		140	200	100	140	65	100		
		200	280	140	200	100	140	m6	
		-	-	200	400	140	280	n6	
		-	-	-	-	280	500	p6	
	Carga pesada o carga de impacto $P/C < 0.12$	-	-					r6	Rodamientos con juegos internos mayores que los estándares son requeridos.
		-	-	50	140	50	100	n6	
		-	-	140	200	100	140	p6	
		-	-	200	-	140	200	r6	

SECCIÓN 4 - TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

Condiciones			Clase de tolerancia del agujero del alojamiento	Comentarios	Aplicaciones (para referencia)		
Alojamiento	Tipo de carga etc. ¹⁾	Desplazamiento axial del aro externo ²⁾					
Tipo una pieza o separado	Carga en aro externo estacionario	Todo tipo de cargas	Fácilmente desplazable	H7	G7 debe ser aplicado con un rodamiento grande, o si la diferencia de temperatura entre el aro externo y el alojamiento es grande.	Aparatos comunes con rodamientos, ferrocarriles, equipo de transmisión de potencia etc.	
		Cargas ligeras o normales	Fácilmente desplazable	H8	-		
		Alta temperatura en el eje y aro interno	Fácilmente desplazable	G7	F7 debe ser aplicado con un rodamiento grande, o si la diferencia de temperatura entre el aro externo y el alojamiento es grande.	Cilindros secadores etc.	
Tipo una pieza	Carga ligera o normal, requiere de alta precisión de rodaje	Normalmente no desplazable		K6	Principalmente aplicado a rodamientos de rodillos		
		Desplazable		JS6	Principalmente aplicado a rodamientos de bolas		
		Requiere rotación de bajo ruido	Fácilmente desplazable		H6	-	
	Dirección de carga indeterminada	Carga ligera o normal	Normalmente desplazable		JS7	Para aplicaciones requiriendo alta precisión, JS6 y K6 deben ser usados en lugar de JS7 y K7.	Motores eléctricos, bombas, cigüeñal, rodamientos normales o principales
		Carga pesada o normal	Normalmente no desplazable		K7		
		Carga de alto impacto	No desplazable		M7		
	Carga giratoria en el aro exterior	Carga ligera o fluctuante	No desplazable		M7	-	Rodillos transportadores, teleféricos, poleas de tensión etc.
		Carga normal o pesada	No desplazable		N7	Principalmente aplicado a los rodamientos de bolas	Cubos de rueda con rodamientos de bolas etc.
		Alojamiento delgado, carga pesada o de alto impacto	No desplazable		P7	Principalmente aplicado a los rodamientos de rodillos	Cubos de rueda con rodamientos de rodillos, para rodamientos de biela en los extremos grandes, cigüeñal, etc.

[Notas]

- 1) Las cargas son clasificadas como lo establecido en la nota 1) tabla anterior.
- 2) Indicar distinción entre las aplicaciones de rodamientos no separables permitiendo y no permitiendo desplazamiento axial del aro externo.

Comentarios

1. Esta tabla es aplicable para alojamientos de hierro fundido o de acero
2. Si solo una carga axial central es aplicada al rodamiento, seleccione un rango de clase de tolerancia capaz de proporcionar juego en la dirección radial del aro externo.

SECCIÓN 4 -TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

AJUSTE RECOMENDADO PARA EJES DE RODAMIENTOS DE RODILLOS CÓNICOS EN PULGADAS

TOLERANCIA DE RODAMIENTOS: clase 4, clase 2

Tipo de carga		Diámetro nominal d mm (1/25.4 pulgadas)				Desviación del diámetro de un agujero sencillo $\Delta d, \mu m$		Tolerancia dimensional del diámetro del eje μm		Comentarios
		Mas de		Hasta		Mayor	Menor	Mayor	Menor	
		mm	in	mm	in					
Carga rotante en el cono	Carga normal	-	-	76.2	3.0	+13	0	+38	+25	Generalmente, el juego interno de un rodamiento debe ser mayor que el estándar.
		76.2	3.0	304.8	12.0	+25	0	+64	+38	
		304.8	12.0	609.6	24.0	+51	0	+127	+76	
		609.6	24.0	914.4	36.0	+76	0	+190	+114	
	Carga pesada de impacto Rotación de alta vel	-	-	76.2	3.0	+13	0	Deberá ser tal que la interferencia promedio esté en $0.0005 \times d(mm)$		
		76.2	3.0	304.8	12.0	+25	0			
		304.8	12.0	609.6	24.0	+51	0			
		609.6	24.0	914.4	36.0	+76	0			
Carga rotante en la copa	Carga normal sin impacto	-	-	76.2	3.0	+13	0	+13	0	
		76.2	3.0	304.8	12.0	+25	0	+25	0	
		304.8	12.0	609.6	24.0	+51	0	+51	0	
		609.6	24.0	914.4	36.0	+76	0	+76	0	
	Carga normal sin impacto	-	-	76.2	3.0	+13	0	0	-13	El cono es desplazable en dirección axial.
		76.2	3.0	304.8	12.0	+25	0	0	-25	
		304.8	12.0	609.6	24.0	+51	0	0	-51	
		609.6	24.0	914.4	36.0	+76	0	0	-76	
	Carga pesada de impacto Rotación de alta vel	-	-	76.2	3.0	+13	0	Deberá ser tal que la interferencia promedio esté en $0.0005 \times d(mm)$		Generalmente, el juego interno de un rodamiento debe ser mayor que el estándar.
		76.2	3.0	304.8	12.0	+25	0			
		304.8	12.0	609.6	24.0	+51	0			
		609.6	24.0	914.4	36.0	+76	0			

SECCIÓN 4 -TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

AJUSTES RECOMENDADOS PARA ALOJAMIENTOS DE RODAMIENTOS DE RODILLOS CONICOS EN PULGADAS (RADIALES) (Clase 0, 6x, 6 DE ISO)

Tipo de carga		Diámetro exterior nominal D mm (1/25.4 plgs)				Desviación del diámetro exterior $\Delta D_s, \mu m$		Tolerancia dimensional del diámetro del agujero del alojamiento μm		Comentarios
		Mas de		Hasta		Mayor	Menor	Mayor	Menor	
		mm	in	mm	in					
Carga rotante en el cono	Utilizado para lados fijos o libres	-	-	76.2	3.0	+25	0	+76	+51	La copa es fácilmente desplazable en dirección axial
		76.2	3.0	127.0	5.0	+25	0	+76	+51	
		127.0	5.0	304.8	12.0	+25	0	+76	+51	
		304.8	12.0	609.6	24.0	+51	0	+152	+102	
		609.6	24.0	914.4	36.0	+76	0	+229	+152	
	Posición de la copa es ajustable (en dirección axial)	-	-	76.2	3.0	+25	0	+25	0	La copa es desplazable en dirección axial
		76.2	3.0	127.0	5.0	+25	0	+25	0	
		127.0	5.0	304.8	12.0	+25	0	+51	0	
		304.8	12.0	609.6	24.0	+51	0	+76	+25	
	Posición de la copa no es ajustable (en dirección axial)	-	-	76.2	3.0	+25	0	-13	-38	La copa permanece fija en dirección axial
		76.2	3.0	127.0	5.0	+25	0	-25	+51	
		127.0	5.0	304.8	12.0	+25	0	-25	+51	
304.8		12.0	609.6	24.0	+51	0	-25	-76		
Carga rotante en la copa	Posición de la copa no es ajustable (en dirección axial)	609.6	24.0	914.4	36.0	+76	0	-25	-102	La copa permanece fija en dirección axial
		-	-	76.2	3.0	+25	0	-13	-38	
		76.2	3.0	127.0	5.0	+25	0	-25	+51	
		127.0	5.0	304.8	12.0	+25	0	-25	+51	
		304.8	12.0	609.6	24.0	+51	0	-25	-76	
		609.6	24.0	914.4	36.0	+76	0	-25	-102	

SECCIÓN 4 -TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

TABLA PARA LA PRÁCTICA DE AJUSTES

Las siguientes tablas, muestran los ajustes recomendados para la práctica de ajustes en ejes y alojamientos, válidos para rodamientos de bolas, rodillos cilíndricos y rodillos cónicos. La práctica de ajuste mostrada para rodamientos de bolas y rodillos cilíndricos son comúnmente utilizados para motores eléctricos y otras aplicaciones que utilicen estos rodamientos de una hilera de elementos rodantes.

AJUSTES RECOMENDADOS PARA RODAMIENTOS RIGIDOS DE BOLAS Y CONTACTO ANGULAR (6200/7200 & 6300/7300) CON CLASE DE TOLERANCIA 6X, & 6

No. Rodamiento	Diámetro externo		Tolerancia alojamiento Ajuste = 6X/6A7		Tolerancia alojamiento Ajuste = 6X/6A2		Tamaño eje (mm)		Tamaño eje (pulgadas)		Tamaño alojamiento (mm)		Tamaño alojamiento (pulgadas)	
	mm	mm	$\times 0.001$ mm	$\times 0.0001$ in	$\times 0.001$ mm	$\times 0.0001$ in	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
62007200	10.000	20.000	H5 + 0.005	$\frac{H5}{-1.2712}$	H8 + 0.013	H9 + 0.011	9.997	10.003	0.3938	0.3938	30.000	30.013	1.1811	1.1816
62107201	12.000	22.000	H5 + 0.004	$\frac{H5}{-1.0158}$	H8 + 0.010	H9 + 0.005	11.996	12.004	0.4723	0.4726	32.000	32.010	1.2590	1.2606
62207202	15.000	25.000	H5 + 0.004	$\frac{H5}{-1.0158}$	H8 + 0.010	H9 + 0.005	14.996	15.004	0.5904	0.5907	35.000	35.010	1.3780	1.3796
62307203	17.000	27.000	H5 + 0.004	$\frac{H5}{-1.0158}$	H8 + 0.010	H9 + 0.005	16.996	17.004	0.6697	0.6698	40.000	40.010	1.5740	1.5754
62407204	20.000	27.000	H5 + 0.011	$\frac{H5}{0.3043}$	H8 + 0.010	H9 + 0.005	20.002	20.011	0.7875	0.7879	47.000	47.011	1.8504	1.8510
62507205	25.000	32.000	H5 + 0.011	$\frac{H5}{0.3043}$	H8 + 0.010	H9 + 0.005	25.002	25.011	0.9843	0.9847	52.000	52.011	2.0472	2.0480
62607206	30.000	32.000	H5 + 0.011	$\frac{H5}{0.3043}$	H8 + 0.010	H9 + 0.005	30.002	30.011	1.1812	1.1815	62.000	62.011	2.4429	2.4437
62717207	35.000	42.000	H5 + 0.015	$\frac{H5}{0.3043}$	H8 + 0.010	H9 + 0.005	35.002	35.015	1.3780	1.3786	72.000	72.015	2.8385	2.8394
62817208	40.000	42.000	H5 + 0.015	$\frac{H5}{0.3043}$	H8 + 0.010	H9 + 0.005	40.002	40.015	1.5748	1.5753	80.000	80.015	3.1490	3.1504
62917209	45.000	45.000	H5 + 0.015	$\frac{H5}{0.3043}$	H8 + 0.022	H9 + 0.007	45.002	45.015	1.7717	1.7722	85.000	85.022	3.3465	3.3475
62107210	50.000	50.000	H5 + 0.015	$\frac{H5}{0.3043}$	H8 + 0.022	H9 + 0.007	50.002	50.015	1.9686	1.9690	90.000	90.022	3.5433	3.5442
62157211	55.000	50.000	H5 + 0.015	$\frac{H5}{0.3043}$	H8 + 0.022	H9 + 0.007	50.002	55.015	2.1654	2.1658	100.000	100.022	3.9379	3.9379
62157212	60.000	55.000	H5 + 0.015	$\frac{H5}{0.3043}$	H8 + 0.022	H9 + 0.007	60.002	65.015	2.3623	2.3629	110.000	110.022	4.3327	4.3326
62157213	65.000	60.000	H5 + 0.015	$\frac{H5}{0.3043}$	H8 + 0.022	H9 + 0.007	65.002	70.015	2.5592	2.5596	120.000	120.022	4.7284	4.7282
62157214	70.000	65.000	H5 + 0.015	$\frac{H5}{0.3043}$	H8 + 0.025	H9 + 0.008	70.002	75.015	2.7560	2.7565	125.000	125.025	4.9213	4.9222
62157215	75.000	70.000	H5 + 0.015	$\frac{H5}{0.3043}$	H8 + 0.025	H9 + 0.008	75.002	80.015	2.9528	2.9533	130.000	130.025	5.1161	5.1161
62167216	80.000	75.000	H5 + 0.015	$\frac{H5}{0.3043}$	H8 + 0.025	H9 + 0.008	80.002	85.015	3.1497	3.1502	140.000	140.025	5.5119	5.5128
62177217	85.000	80.000	H5 + 0.018	$\frac{H5}{1.27}$	H8 + 0.025	H9 + 0.010	85.003	90.018	3.3466	3.3472	150.000	150.025	5.9065	5.9065
62177218	90.000	85.000	H5 + 0.018	$\frac{H5}{1.27}$	H8 + 0.025	H9 + 0.010	90.003	95.018	3.5434	3.5440	160.000	160.025	6.2962	6.2962
62177219	95.000	90.000	H5 + 0.018	$\frac{H5}{1.27}$	H8 + 0.025	H9 + 0.010	95.003	100.018	3.7403	3.7409	170.000	170.025	6.6909	6.6909
62207220	100.000	100.000	H5 + 0.018	$\frac{H5}{1.27}$	H8 + 0.025	H9 + 0.010	100.003	100.018	3.9371	3.9377	180.000	180.025	7.0868	7.0878
62217221	105.000	100.000	$\frac{H5}{1320}$	$\frac{H5}{1320}$	H8 + 0.026	H9 + 0.011	105.013	105.029	4.1344	4.1350	190.000	190.029	7.4823	7.4835
62257222	110.000	100.000	$\frac{H5}{1320}$	$\frac{H5}{1320}$	H8 + 0.026	H9 + 0.011	110.013	110.029	4.3312	4.3319	200.000	200.029	7.8740	7.8752
62247224	120.000	115.000	$\frac{H5}{1320}$	$\frac{H5}{1320}$	H8 + 0.026	H9 + 0.011	120.013	120.029	4.7244	4.7250	215.000	215.029	8.4940	8.4957
62267226	130.000	120.000	$\frac{H5}{1535}$	$\frac{H5}{1535}$	H8 + 0.028	H9 + 0.011	130.015	130.033	5.1187	5.1194	230.000	230.033	8.9261	8.9283
62267228	140.000	130.000	$\frac{H5}{1535}$	$\frac{H5}{1535}$	H8 + 0.028	H9 + 0.011	140.015	140.033	5.5124	5.5131	250.000	250.033	9.8425	9.8437
62307230	150.000	140.000	$\frac{H5}{1540}$	$\frac{H5}{1540}$	H8 + 0.032	H9 + 0.013	150.015	150.040	5.9065	5.9071	270.000	270.033	10.8294	10.8312
62327232	160.000	150.000	$\frac{H5}{1540}$	$\frac{H5}{1540}$	H8 + 0.032	H9 + 0.013	160.015	160.040	6.2999	6.3008	290.000	290.033	11.4173	11.4189
62347234	170.000	160.000	$\frac{H5}{1540}$	$\frac{H5}{1540}$	H8 + 0.032	H9 + 0.013	170.015	170.040	6.6935	6.6945	310.000	310.033	12.2347	12.2360
62367236	180.000	170.000	$\frac{H5}{1540}$	$\frac{H5}{1540}$	H8 + 0.036	H9 + 0.014	180.015	180.040	7.0872	7.0882	320.000	320.036	12.8464	12.8480
62367238	190.000	180.000	$\frac{H5}{1746}$	$\frac{H5}{1746}$	H8 + 0.036	H9 + 0.014	190.017	190.040	7.4813	7.4821	340.000	340.036	13.5858	13.5872
62407240	200.000	190.000	$\frac{H5}{1746}$	$\frac{H5}{1746}$	H8 + 0.036	H9 + 0.014	200.017	200.040	7.8747	7.8759	360.000	360.036	14.1732	14.1748
62447244	220.000	200.000	$\frac{H5}{3183}$	$\frac{H5}{1224}$	H8 + 0.036	H9 + 0.014	220.021	220.060	8.9025	8.9039	400.000	400.036	15.7480	15.7484
62487248	240.000	220.000	$\frac{H5}{3183}$	$\frac{H5}{1224}$	H8 + 0.040	H9 + 0.015	240.021	240.060	9.4500	9.4512	440.000	440.040	17.3229	17.3244

SECCIÓN 4 - TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

TABLA PARA LA PRÁCTICA DE AJUSTES

AJUSTES RECOMENDADOS PARA RODAMIENTOS RIGIDOS DE BOLAS Y DE CONTACTO ANGULAR (6200/7200 & 6300/7300) CON CLASES DE TOLERANCIA O, 6X, & 6

No. Rodamiento	Diámetro		Tolerancia Alojamiento Ajuste = MIN/MAX		Tolerancia Alojamiento Ajuste = MIN/MAX		Tamaño eje (mm)		Tamaño eje (pulgadas)		Tamaño alojamiento (mm)		Tamaño alojamiento (pulgadas)	
	Interno	Externo	x 0.001 mm	x 0.0001 in	x 0.001 mm	x 0.0001 in	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
6207500	10.00	35.00	± 5	± 5	H8	H8	9.997	10.003	0.3928	0.3938	35.000	35.016	1.3790	1.3796
6207501	12.00	37.00	± 5	± 5	H8	H8	11.996	12.004	0.4723	0.4728	37.000	37.016	1.4567	1.4573
6207502	15.00	42.00	± 5	± 5	H8	H8	14.996	15.004	0.5904	0.5907	42.000	42.016	1.6535	1.6542
6207503	17.00	47.00	± 5	± 5	H8	H8	16.996	17.004	0.6681	0.6684	47.000	47.016	1.8504	1.8510
6207504	20.00	52.00	± 5	± 5	H8	H8	20.002	20.011	0.7875	0.7878	52.000	52.019	2.0472	2.0480
6207505	25.00	62.00	± 5	± 5	H8	H8	25.002	25.011	0.9843	0.9847	62.000	62.019	2.4406	2.4417
6207506	30.00	72.00	± 5	± 5	H8	H8	30.002	30.011	1.1812	1.1815	72.000	72.019	2.8346	2.8364
6207507	35.00	80.00	± 5	± 0.05	H8	H8	35.002	35.013	1.3783	1.3785	80.000	80.019	3.1496	3.1504
6207508	40.00	90.00	± 5	± 0.05	H8	H8	40.002	40.013	1.5748	1.5753	90.000	90.022	3.5433	3.5442
6207509	45.00	100.00	± 5	± 0.05	H8	H8	45.002	45.013	1.7717	1.7722	100.000	100.022	3.9370	3.9379
6207510	50.00	110.00	± 5	± 0.05	H8	H8	50.002	50.013	1.9686	1.9690	110.000	110.022	4.3307	4.3316
6207511	55.00	120.00	± 5	± 0.05	H8	H8	55.002	55.015	2.1654	2.1658	120.000	120.022	4.7244	4.7253
6207512	60.00	130.00	± 5	± 0.05	H8	H8	60.002	60.015	2.3623	2.3626	130.000	130.025	5.1181	5.1191
6207513	65.00	140.00	± 5	± 0.05	H8	H8	65.002	65.015	2.5592	2.5596	140.000	140.025	5.5118	5.5128
6207514	70.00	150.00	± 5	± 0.05	H8	H8	70.002	70.015	2.7560	2.7565	150.000	150.025	5.9055	5.9065
6207515	75.00	160.00	± 5	± 0.05	H8	H8	75.002	75.015	2.9529	2.9533	160.000	160.025	6.2992	6.3002
6207516	80.00	170.00	± 5	± 0.05	H8	H8	80.002	80.015	3.1497	3.1502	170.000	170.025	6.6929	6.6939
6207517	85.00	180.00	± 5	± 1.27	H8	H8	85.003	85.019	3.3466	3.3472	180.000	180.025	7.0866	7.0876
6207518	90.00	190.00	± 5	± 1.27	H8	H8	90.003	90.019	3.5434	3.5440	190.000	190.029	7.4803	7.4813
6207519	95.00	200.00	± 5	± 1.27	H8	H8	95.003	95.019	3.7403	3.7409	200.000	200.029	7.8740	7.8750
6207520	100.00	215.00	± 5	± 1.27	H8	H8	100.003	100.019	3.9371	3.9377	215.000	215.029	8.4666	8.4677
6207521	105.00	225.00	± 5	± 0.11	H8	H8	105.013	105.020	4.1344	4.1350	225.000	225.029	8.8593	8.8604
6207522	110.00	240.00	± 5	± 0.11	H8	H8	110.013	110.020	4.3312	4.3318	240.000	240.029	9.4488	9.4500
6207524	120.00	260.00	± 5	± 0.11	H8	H8	120.013	120.020	4.7248	4.7255	260.000	260.032	10.2562	10.2575
6207526	150.00	280.00	± 5	± 0.13	H8	H8	150.015	150.023	5.1187	5.1194	280.000	280.032	11.0236	11.0249
6207528	160.00	300.00	± 5	± 0.13	H8	H8	160.015	160.023	5.5124	5.5131	300.000	300.032	11.8110	11.8123
6207530	180.00	320.00	± 5	± 0.18	H8	H8	180.015	180.040	6.9061	6.9071	320.000	320.039	12.5984	12.5999
6207532	190.00	340.00	± 5	± 0.18	H8	H8	190.015	190.040	7.2998	7.3008	340.000	340.039	13.3859	13.3872
6207534	170.00	360.00	± 5	± 0.18	H8	H8	170.015	170.040	6.6935	6.6945	360.000	360.039	14.1732	14.1745
6207536	190.00	380.00	± 5	± 0.18	H8	H8	190.015	190.040	7.0872	7.0882	380.000	380.039	14.9606	14.9620
6207538	190.00	400.00	± 5	± 0.18	H8	H8	190.017	190.045	7.4809	7.4821	400.000	400.039	15.7480	15.7494
6207540	200.00	420.00	± 5	± 0.18	H8	H8	200.017	200.045	7.8747	7.8758	420.000	420.040	16.5354	16.5370

SECCIÓN 4 - TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

TABLA PARA LA PRÁCTICA DE AJUSTES

AJUSTES RECOMENDADOS PARA RODAMIENTOS DE RODILLOS CILÍNDRICOS (NU200 & NU300).
CLASES DE TOLERANCIA DE RODAMIENTOS: 0.6X, &6

No. Rodamiento	Tolerancia de eje MIN/MAX		Tolerancia alojamiento MIN/MAX		Tamaño eje (mm)		Tamaño eje (pulgadas)		Tamaño alojamiento (mm)		Tamaño alojamiento (pulgadas)	
	$\times 0.001$ mm	$\times 0.0001$ in	$\times 0.001$ mm	$\times 0.0001$ in	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
NU204	k5 = 2/11	k5 = 0.043	H6 = 0/18	H6 = 0/5.3	20.002	20.011	0.7875	0.7876	47.000	47.016	1.8504	1.8510
NU205	k5 = 2/11	k5 = 0.043	H6 = 0/19	H6 = 0/7.5	25.002	25.011	0.9843	0.9847	62.000	62.019	2.0472	2.0480
NU206	k5 = 2/11	k5 = 0.043	H6 = 0/19	H6 = 0/7.5	30.002	30.011	1.1812	1.1815	62.000	62.019	2.4409	2.4417
NU207	k5 = 2/13	k5 = 0.045	H6 = 0/19	H6 = 0/7.5	35.002	35.013	1.3780	1.3785	72.000	72.019	2.8346	2.8354
NU208	k5 = 2/13	k5 = 0.045	H6 = 0/19	H6 = 0/7.5	40.002	40.013	1.5749	1.5753	80.000	80.019	3.1496	3.1504
NU209	m5 = 9/20	m5 = 3.5/6	H6 = 0/22	H6 = 0/5.7	45.009	45.020	1.7720	1.7724	85.000	85.022	3.3465	3.3473
NU210	m5 = 9/20	m5 = 3.5/6	H6 = 0/22	H6 = 0/5.7	50.009	50.020	1.9689	1.9693	90.000	90.022	3.5433	3.5442
NU211	m5 = 11/24	m5 = 4.3/9	H6 = 0/22	H6 = 0/5.7	55.011	55.024	2.1658	2.1663	100.000	100.022	3.9370	3.9379
NU212	m5 = 11/24	m5 = 4.3/9	H6 = 0/22	H6 = 0/5.7	60.011	60.024	2.3626	2.3631	110.000	110.022	4.3307	4.3316
NU213	m5 = 11/24	m5 = 4.3/9	H6 = 0/22	H6 = 0/5.7	65.011	65.024	2.5595	2.5600	120.000	120.022	4.7244	4.7253
NU214	m5 = 11/24	m5 = 4.3/9	H6 = 0/25	H6 = 0/9.8	70.011	70.024	2.7563	2.7569	125.000	125.025	4.9213	4.9222
NU215	m5 = 11/24	m5 = 4.3/9	H6 = 0/25	H6 = 0/9.8	75.011	75.024	2.9532	2.9537	130.000	130.025	5.1181	5.1191
NU216	m5 = 11/24	m5 = 4.3/9	H6 = 0/25	H6 = 0/9.8	80.011	80.024	3.1500	3.1506	140.000	140.025	5.5118	5.5128
NU217	m5 = 13/28	m5 = 5/11	H6 = 0/25	H6 = 0/9.8	85.013	85.028	3.3470	3.3476	150.000	150.025	5.9055	5.9065
NU218	m5 = 13/28	m5 = 5/11	H6 = 0/25	H6 = 0/9.8	90.013	90.028	3.5438	3.5444	160.000	160.025	6.2992	6.3002
NU219	m5 = 13/28	m5 = 5/11	H6 = 0/25	H6 = 0/9.8	95.013	95.028	3.7407	3.7413	170.000	170.025	6.6929	6.6939
NU220	m5 = 13/28	m5 = 5/11	H6 = 0/25	H6 = 0/9.8	100.013	100.028	3.9375	3.9381	180.000	180.025	7.0866	7.0876
NU221	m5 = 13/35	m5 = 5/14	H6 = 0/29	H6 = 0/11.4	105.013	105.035	4.1344	4.1352	190.000	190.029	7.4803	7.4815
NU222	m5 = 13/35	m5 = 5/14	H6 = 0/29	H6 = 0/11.4	110.013	110.035	4.3312	4.3321	200.000	200.029	7.8740	7.8752
NU224	m5 = 13/35	m5 = 5/14	H6 = 0/29	H6 = 0/11.4	120.013	120.035	4.7280	4.7286	215.000	215.029	8.4646	8.4657
NU226	m5 = 15/40	m5 = 6/16	H6 = 0/29	H6 = 0/11.4	130.015	130.040	5.1187	5.1197	230.000	230.029	9.0551	9.0563
NU228	m5 = 15/40	m5 = 6/16	H6 = 0/29	H6 = 0/11.4	140.015	140.040	5.5124	5.5134	250.000	250.029	9.8425	9.8437
NU230	m8 = 27/52	m6 = 11/20	H6 = 0/32	H6 = 0/12.6	150.027	150.062	5.9058	5.9076	270.000	270.032	10.6299	10.6312
NU232	m8 = 27/52	m6 = 11/20	H6 = 0/32	H6 = 0/12.6	160.027	160.062	6.3003	6.3013	290.000	290.032	11.4173	11.4186
NU234	m8 = 27/52	m6 = 11/20	H6 = 0/32	H6 = 0/12.6	170.027	170.062	6.6940	6.6950	310.000	310.032	12.2047	12.2060
NU236	m8 = 27/52	m6 = 11/20	H6 = 0/36	H6 = 0/14.2	180.027	180.062	7.0877	7.0887	320.000	320.038	12.5964	12.5983
NU238	m8 = 31/60	m6 = 13/24	H6 = 0/36	H6 = 0/14.2	190.031	190.060	7.4815	7.4827	340.000	340.038	13.3856	13.3872
NU240	m8 = 31/60	m6 = 13/24	H6 = 0/36	H6 = 0/14.2	200.031	200.060	7.8752	7.8764	350.000	350.038	14.1732	14.1746
NU244	p6 = 50/79	p6 = 20/31	H6 = 0/36	H6 = 0/14.2	220.050	220.079	8.6634	8.6645	400.000	400.038	15.7450	15.7464
NU246	p6 = 50/79	p6 = 20/31	H6 = 0/40	H6 = 0/15.7	240.060	240.079	9.4508	9.4519	440.000	440.040	17.3226	17.3244
NU252	p6 = 56/85	p6 = 22/35	H6 = 0/40	H6 = 0/15.7	260.068	260.068	10.2384	10.2397	480.000	480.040	18.8976	18.8992
NU256	p6 = 56/85	p6 = 22/35	H6 = 0/40	H6 = 0/15.7	280.068	280.068	11.0256	11.0271	500.000	500.040	19.6850	19.6866

SECCIÓN 4 - TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

TABLA PARA LA PRÁCTICA DE AJUSTES

AJUSTES RECOMENDADOS PARA RODAMIENTOS DE RODILLOS CILÍNDRICOS (NU200 & NU300).
CLASES DE TOLERANCIA DE RODAMIENTOS: 0.6X, &6

No. Rodamiento	Tolerancia Eje = MINMAX		Tolerancia alojamiento = MINMAX		Tamaño eje (mm)		Tamaño eje (pulgadas)		Tamaño alojamiento (mm)		Tamaño alojamiento (pulgadas)	
	x 0.001 mm	x 0.0001 in	x 0.001 mm	x 0.0001 in	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
NU304	k5 + 211	k5 = 0.043	H8 + 019	H8 + 07.5	25.002	20.011	0.9855	0.7878	62.000	62.019	2.4372	2.4490
NU305	k5 + 211	k5 = 0.043	H8 + 019	H8 + 07.5	25.002	25.011	0.9843	0.9847	62.000	62.019	2.4409	2.4417
NU306	k5 + 211	k5 = 0.043	H8 + 019	H8 + 07.5	30.002	30.011	1.1812	1.1815	72.000	72.019	2.8348	2.8354
NU307	k5 + 213	k5 = 0.85	H8 + 019	H8 + 07.5	35.002	35.013	1.3780	1.3785	80.000	80.019	3.1496	3.1504
NU308	k5 + 213	k5 = 0.85	H8 + 022	H8 + 08.7	40.002	40.013	1.5749	1.5753	90.000	90.022	3.5433	3.5442
NU309	m5 + 320	m5 = 3.58	H8 + 022	H8 + 08.7	45.009	45.000	1.7720	1.7724	100.000	100.022	3.9370	3.9379
NU310	m5 + 320	m5 = 3.58	H8 + 022	H8 + 08.7	50.009	50.000	1.9689	1.9693	110.000	110.022	4.3307	4.3316
NU311	m5 + 1124	m5 = 4.36	H8 + 022	H8 + 08.7	55.011	55.004	2.1658	2.1663	120.000	120.022	4.7244	4.7253
NU312	m5 + 1124	m5 = 4.36	H8 + 025	H8 + 09.8	60.011	60.004	2.3628	2.3631	130.000	130.025	5.1181	5.1191
NU313	m5 + 1124	m5 = 4.36	H8 + 025	H8 + 09.8	65.011	65.004	2.5595	2.5600	140.000	140.025	5.5118	5.5128
NU314	m5 + 1124	m5 = 4.36	H8 + 025	H8 + 09.8	70.011	70.004	2.7563	2.7569	150.000	150.025	5.9055	5.9065
NU315	m5 + 1124	m5 = 4.36	H8 + 025	H8 + 09.8	75.011	75.004	2.9532	2.9537	160.000	160.025	6.2992	6.3002
NU316	m5 + 1124	m5 = 4.36	H8 + 025	H8 + 09.8	80.011	80.004	3.1500	3.1505	170.000	170.025	6.6929	6.6939
NU317	m5 + 1323	m5 = 5.11	H8 + 025	H8 + 09.8	85.013	85.005	3.3470	3.3475	180.000	180.025	7.0866	7.0876
NU318	m5 + 1323	m5 = 5.11	H8 + 029	H8 + 011.4	90.013	90.005	3.5438	3.5444	190.000	190.029	7.4803	7.4813
NU319	m5 + 1323	m5 = 5.11	H8 + 029	H8 + 011.4	95.013	95.005	3.7407	3.7413	200.000	200.029	7.8740	7.8750
NU320	m5 + 1323	m5 = 5.11	H8 + 029	H8 + 011.4	100.013	100.005	3.9375	3.9381	210.000	210.029	8.2676	8.2687
NU321	m6 + 1325	m6 = 5.14	H8 + 029	H8 + 011.4	105.013	105.005	4.1344	4.1352	220.000	220.029	8.6613	8.6624
NU322	m6 + 1325	m6 = 5.14	H8 + 029	H8 + 011.4	110.013	110.005	4.3312	4.3321	230.000	230.029	9.0550	9.0560
NU324	m6 + 1325	m6 = 5.14	H8 + 032	H8 + 012.6	120.013	120.005	4.7249	4.7255	260.000	260.032	10.2362	10.2375
NU325	m6 + 1540	m6 = 6.18	H8 + 032	H8 + 012.6	130.015	130.040	5.1187	5.1197	280.000	280.032	11.0236	11.0249
NU326	m6 + 1540	m6 = 6.18	H8 + 032	H8 + 012.6	140.015	140.040	5.5124	5.5134	300.000	300.032	11.8110	11.8123
NU330	n6 + 2752	n6 = 11.00	H8 + 035	H8 + 014.2	160.027	160.052	6.3005	6.3013	320.000	320.035	12.5984	12.5996
NU332	n6 + 2752	n6 = 11.00	H8 + 035	H8 + 014.2	160.027	160.052	6.3003	6.3013	340.000	340.035	13.3856	13.3872
NU334	n6 + 2752	n6 = 11.00	H8 + 035	H8 + 014.2	170.027	170.052	6.6940	6.6950	360.000	360.035	14.1732	14.1748
NU336	n6 + 2752	n6 = 11.00	H8 + 035	H8 + 014.2	180.027	180.052	7.0877	7.0887	380.000	380.035	14.9606	14.9620
NU338	n6 + 3140	n6 = 1234	H8 + 035	H8 + 014.2	190.031	190.060	7.4815	7.4827	400.000	400.035	15.7480	15.7494
NU340	n6 + 3140	n6 = 1234	H8 + 040	H8 + 015.7	200.031	200.060	7.8752	7.8764	420.000	420.040	16.5354	16.5370
NU344	p6 + 5079	p6 = 20.01	H8 + 040	H8 + 015.7	220.050	220.079	8.6634	8.6645	480.000	480.040	18.1102	18.1118
NU346	p6 + 5079	p6 = 20.01	H8 + 040	H8 + 015.7	240.050	240.079	9.4508	9.4519	500.000	500.040	19.8950	19.8965

SECCIÓN 4 -TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

JUEGOS INTERNOS EN RODAMIENTOS Y PRECARGA

Seleccionar el juego interno correcto y si en necesaria la aplicación de precarga para una aplicación en particular es crucial para conseguir el rendimiento deseado del rodamiento.

DESCRIPCION DEL JUEGO INTERNO

El Juego interno de un rodamiento puede ser de dos tipos, radial o axial. El mismo, es la distancia que puede moverse el anillo interior o el anillo exterior ya sea en dirección radial o axial mientras que el otro esta estacionario.

Con solo algunas excepciones, el juego interno en los rodamientos es normalmente discutido en términos de juego radial. Rodamientos de Contacto Angular apareados son especificados en términos de juego axial. También, cuando dos rodamientos de rodillos cónicos de una hilera son apareados, el valor del juego interno entre las hileras son medidas axiales.

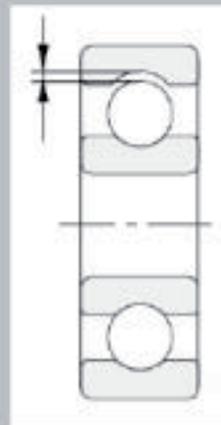
El juego interno antes del montaje es generalmente conocido como el juego interno original. Este valor inicial, es el proveído en el rodamiento en el momento de la entrega. Este juego interno es presentado en la tabla de especificaciones en el catalogo de **Koyo/JTEKT** Rodamiento de Bolas y Rodillos.

Después de que un rodamiento es montado en un eje y luego en el alojamiento, el juego original es reducido debido a una contracción o expansión de los anillos a esto se le llama "juego residual" o juego interno montado. "Juego interno efectivo" es el juego residual después de tener en cuenta los cambios de temperatura diferenciales dentro del rodamiento. "Juego operativo" es definido como el juego efectivo con un adicional efecto de deformaciones elásticas que proviene de la aplicación de la carga.

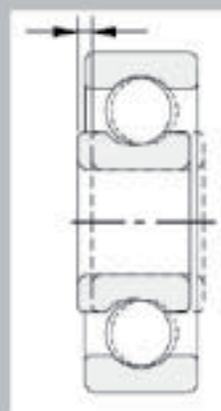
El rendimiento satisfactorio de un rodamiento depende de tener el apropiado juego operativo para evitar daños prematuros en el rodamiento y reducir la fatiga.

Como está mostrado en la gráfica en la página 64, la fatiga del rodamiento es óptima cuando el juego interno operativo es ligeramente negativo.

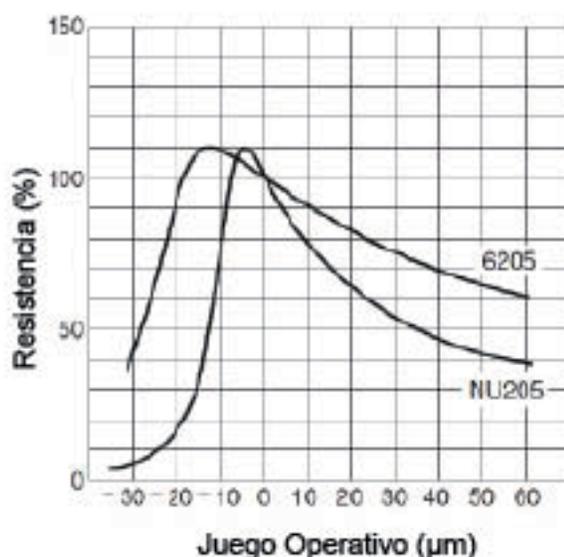
JUEGO RADIAL



JUEGO AXIAL



SECCIÓN 4 - TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES



Sin Embargo, si el juego interno operativo es reducido mucho más allá de la opción ligeramente negativa, la fatiga es reducida significativamente. Por consiguiente, es sugerido que el juego interno del rodamiento inicial sea seleccionado para dar un juego interno operativo que sea ligeramente positivo para evitar la posibilidad de una reducción de la fatiga. Ecuaciones para determinar efectos del ajuste y la temperatura en el juego interno del rodamiento y el resultado del juego interno operativo son presentados en el catálogo **Koyo** Rodamientos de Bolas y Rodillos.

PRECARGA EN EL RODAMIENTO

En general, los rodamientos son operados con una cierta cantidad de juego interno. Sin embargo, hay algunas aplicaciones donde los rodamientos son montados con suficiente carga axial dando como resultado un juego interno levemente negativo. Esta carga axial es definida como precarga y es usado con frecuencia en los rodamientos de rodillos cónicos y rodamientos de contacto angular.

Algunas de las razones por las cuales se usan rodamientos con precarga:

- Para mejorar la exactitud y precisión eliminando juegos y reduciendo desviaciones.
- Incrementa el ajuste del rodamiento y la rigidez del eje para mejorar la precisión.
- Reduce la posibilidad de deslizamiento y golpes en el rodamiento en aplicaciones con alto ritmo y velocidad.
- Ayuda a minimizar el ruido por vibraciones.
- Usado para prevenir que un rodamiento ruede libremente (daño en la jaula) con una carga axial alta en una dirección.

Rodamientos con precarga pueden ser usados mediante el posicionamiento correcto de los aros. Esto puede ser logrado usando varios dispositivos de localización axial, algunas como tuercas de ajuste, pernos y separadores, para dar una opción de precarga entre las hileras de los rodamientos. Este método es definido como "precarga posicional" o precarga fijada. Este método permitirá el uso de altos valores de precargas y un resultado de alta rigidez.

SECCIÓN 4 -TOLERANCIAS, JUEGOS Y AJUSTES

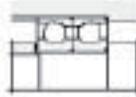
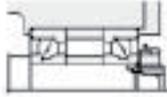
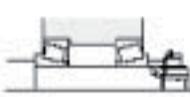
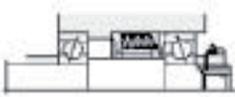
JUEGO INTERNO EN EL RODAMIENTO Y PRECARGA.... continuacion

Otro método para precarga es usar un diseño de resorte o "precarga de presión constante". Este método proporciona una fuerza de precarga constante lo que permitirá una menor fluctuación en la carga y proporciona una compensación térmica para diferencias de temperaturas entre el eje y el alojamiento.

Este método es apropiado en aplicaciones de alta velocidad y donde las vibraciones pueden ser un problema.

Este método no debe usarse cuando la alta rigidez y un ajuste deslizante en el anillo del rodamiento no puedan ser acomodados.

Las ilustraciones abajo muestran los métodos de "precarga posicionada" y la "precarga constante" para la precarga de los rodamientos.

Precarga posicionada			Precarga de presión constante
			
Método usando rodamientos apareados con destacados ajustes para precargas	Método usando espaciadores con dimensiones ajustadas para precargas	Método usando pernos capaces de ajustar precargas en dirección axial. En este caso, el momento de fricción durante el ajuste debe ser medido para que la precarga apropiada sea aplicada	Método usando resorte de Bobina o resortes de diafragma

La cantidad de precarga necesita ser determinada para evitar posibles efectos adversos en la vida y fatiga del rodamiento. Cuando se determina la cantidad de fuerza de precarga a ser usada, algunos efectos en los rodamientos o en las aplicaciones deben ser consideradas:

- Requerimientos de rigidez.
- Exactitud y precisión necesitada.
- Torque del rodamientos y consumo de los caballos de fuerza aumenta.
- Temperatura de operación incrementa y al igual que los requerimientos de enfriamiento para la lubricación.
- Requerimientos del diseño de montaje.

Desde entonces todos los efectos deseados de un incremento en la rigidez y exactitud son obtenidos con los rodamientos precargados, la mayoría de los rodamientos precargados son usados en aplicaciones de husillos de maquina herramientas. Por consiguiente, el rodamiento de bolas de contacto angular normalmente suministrado para estos husillos de máquinas herramientas son de precisión JIS clase 5 o mas alta. **Koyo/JTEKT** ofrece cuatro clases de precarga de rodamientos apareados de bolas de contacto angular. Una precarga suave (S), precarga ligera (L), precarga mediana (M) y una precarga pesada (H) pueden ser seleccionadas. Con estos rodamientos de precisión precargados, las prácticas de montaje en el eje y alojamiento deben ser ajustadas.

Tablas para rodamientos de bolas de contacto angular valores precargados y recomendados para prácticas de ajuste se pueden encontrar en el Catálogo de rodamiento de bolas y rodillos **Koyo**.