

## 4 COJINETES

### 4.1 COJINETES DE FRICCIÓN (o deslizantes)

#### 4.1.1 GENERALIDADES

Cuando un elemento de máquina está soportado por un segundo elemento, y hay un movimiento relativo entre ellos, de tal forma que las superficies en contacto deslizan una sobre la otra, el conjunto constituye un cojinete. Pero comúnmente se ha dado en llamar cojinete al elemento que soporta (da apoyo necesario para efectuar el movimiento de rotación) o sobre el cual se mueve el otro elemento, el cual puede ser un gorrón, un collar de empuje, perno, arboles o ejes, zapatas, etc.

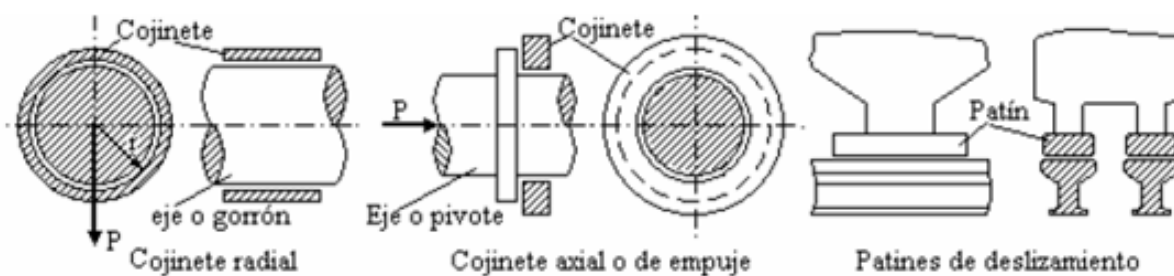


Figura 4.1

#### 4.1.2 CLASIFICACION DE LOS COJINETES DE FRICCIÓN.

LA clasificación es muy diversa y puede ser según:

**a) Según la dirección del esfuerzo:** Cojinete de empuje transversal (cojinete de apoyo) para esfuerzos radiales; cojinetes axiales (pivotes) para esfuerzos axiales.

**b) Cojinetes de deslizamiento o guía:** Los que limitan el movimiento o sirven de guía a una pieza animada de un movimiento rectilíneo alternativo.

**c) Cojinetes de bancada:** Cuando forman parte del basamento de la máquina misma.

**d) Según su aplicación:** Cojinetes para mecanismos, transmisiones, motores, turbinas, trenes de laminación, etc.

**e) Según su tipo:** Cojinetes cerrados, de tope vertical, oscilantes, de discos, incorporados, etc.

**f) Según la materia antifricción:** Cojinetes de metal blancos, de fundición, de bronce rojo, de bronce ordinario, de metal ligero, de metal sinterizado, etc.

**g) Según la lubricación:** Cojinetes lubricados con grasa, de engrase por anillo por circulación de aceite y a presión.

#### **4.1.3 COJINETE DE FRICCIÓN VS COJINETES DE RODADURA**

La pregunta, si son mejores los rodamientos (cojinetes de antifricción) a los cojinetes de fricción (cojinetes de deslizamiento) puede contestarse diciendo que de acuerdo a sus aplicación serán las respuestas.

Hay casos en que solo convienen los cojinetes de fricción, otros en que es indistinto y otros en que conviven los de rodadura.

En los cojinetes friccionantes, la gran superficie de contacto y lubricación actúa amortiguando vibraciones, ruidos, oscilaciones y golpes. Estas superficies, son también menos sensibles a la penetración de polvo, ya que la grasa que sirve para su lubricación actúa de reten, evitando la penetración de polvo y además como amortiguados, disminuyendo las oscilaciones. Además los cojinetes de fricción son de fabricación sencilla y barata, tanto los enteros como los partidos; en los grandes diámetros la diferencia de costos es aún mayor, entre cojinetes friccionantes y los de rodadura; además son de dimensiones menores, cosa que beneficia al diseño, en caso de tener espacios reducidos.

Por otro lado, la película de deslizamiento de lubricante, solo se forma por el movimiento; entonces, la fricción de arranque es grande. Además el consumo de lubricante es bastante mayor, lo que hace más difícil y riguroso su mantenimiento, sobre todo en los de eje vertical.

Por todo lo anterior, se dará preferencia a los cojinetes de fricción:

- a)** Cuando sea muy importante, un funcionamiento silencioso.
- b)** Cuando se produzcan fuertes vibraciones y sacudidas.
- c)** Cuando se requieran cojinetes partidos o diámetros pequeños.
- d)** Cuando sean suficientes los cojinetes de fricción, y sus inconvenientes no sean decisivos.

Los adelantos modernos, hicieron variar mucho las condiciones de diseño; la relación del largo al diámetro disminuye  $b/d = 0,4$  a 1 haciéndose entonces ahora cojinetes mas cortos; también colaboro a ello las nuevas teorías sobre lubricación.

Cojinetes de fricción con las dimensiones de los rodamientos catalogados, lo cual facilita su aplicación y adquisición.

Casquillos de acero con un delgado forro metálico, de un metal sinterizado que almacena aceite. Gorriones de los ejes templados, pulidos y compactados superficialmente o con rectificado extrafino. Aportación del lubricante mediante

bolsas de almacenamiento, en lugar de ranuras. A mucha velocidad y poca carga, lubricación por aire comprimido en vez de aceite.

#### 4.1.4 ROZAMIENTO Y PRESION DE LUBRICACION EN COJINETES DE FRICCION.

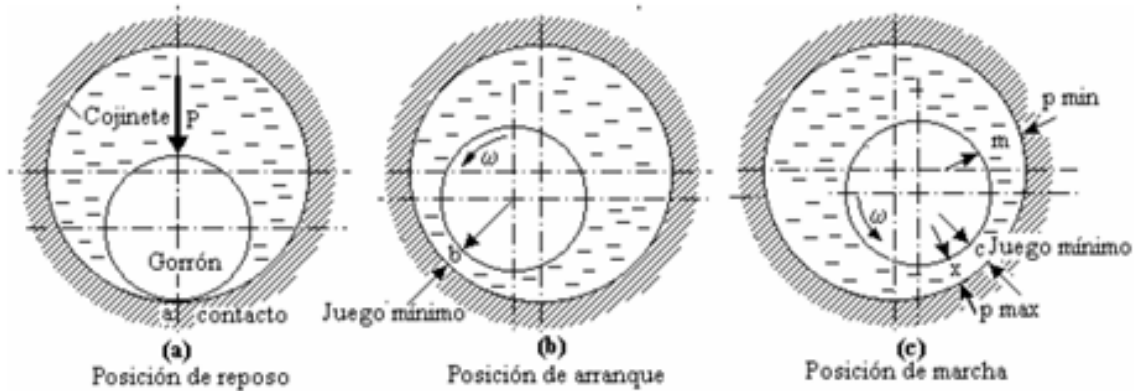


Figura 4.2

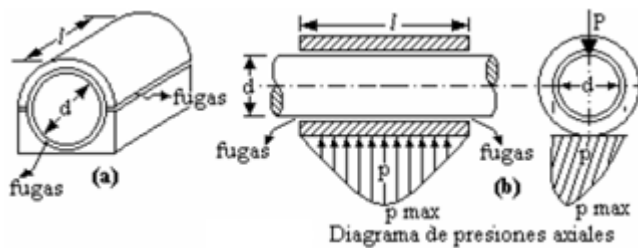


Figura 4.3

Desde el momento que existe un movimiento relativo entre las superficies de contacto, una cierta cantidad de energía será utilizada en vencer la fuerza debido al rozamiento, y si las superficies se tocan entre sí, existirá elevación de temperatura y un desgaste rápido y pronunciado de éstas, con peligro de deformación, arrastre de material, avería, etc. A fin de reducir el rozamiento, disminuir el desgaste y evitar averías, se coloca entre ambas superficies una substancia formando un *colchón* o *película* que las mantenga separadas, y que al mismo tiempo tenga muy bajo índice de rozamiento. Esta substancia recibe el nombre de *lubricante*, siendo por lo general líquido o pastoso. De esta manera se reemplaza el rozamiento entre sólido-sólido por otro entre sólido-líquido o pastoso. En estas condiciones, se dice que los cojinetes trabajan lubricados. Analizando la lubricación hidrodinámica de los cojinetes, teniendo en cuenta que la película lubricante formada por el movimiento de las superficies puede ser, o totalmente fluida, si la película es lo suficientemente gruesa para mantener totalmente separadas las superficies en movimiento, o semifluida o de película delgada, cuando ésta última no tiene el espesor suficiente para mantener completamente

separadas las superficies en movimiento, existiendo en este caso, algún contacto entre las superficies. Cuando el lubricante es introducido a presión entre las superficies, la lubricación se denomina hidrostática, obteniéndose en este caso siempre una película gruesa.

En los cojinetes de empuje transversal, el coeficiente de rozamiento disminuye rápidamente al aumentar la velocidad del eje. El rozamiento va de un valor máximo en el arranque hasta un mínimo, para luego volver a aumentar para velocidades mayores.

Por debajo del valor de velocidad, para la cual el rozamiento es mínimo, la presión de lubricación no es suficiente para soportar la carga que esta aplicada a través del gorrón, sobre el buje.

El coeficiente de rozamiento y el desgaste, dependen aquí de las propiedades específicas del lubricante (untuosidad, capacidad de adherencia) y de las superficies deslizantes.

Para las velocidades en que se produce el rozamiento flotante, las superficies están separadas por una película de lubricante; la presión de lubricación soporta la carga, de manera que prácticamente no hay desgaste metálico.

La propiedad mas importante es la viscosidad dinámica del fluido, que de ella dependerá el espesor de la película que se deba alcanzar de acuerdo a la rugosidad superficial de los materiales. La presión de lubricación capaz de soportar la carga se genera hidrodinámicamente en el intersticio existente entre las dos superficies deslizantes; debido a su adhesión y viscosidad e inyectando en el interior de anchura decreciente, de manera que el gorrón quede desplazado y se levante hasta lograr el equilibrio entre la carga y la presión de lubricación. El máximo de presión se halla en el sentido de rotación un poco antes del punto mas estrecho; detrás de este puede originarse hasta una depresión de 0,25 Kg./cm<sup>2</sup> debido a las fuerzas de aspiración.

Si se perturba la formación de la presión de lubricación la fuerza portante disminuye considerablemente, por ejemplo, al evacuar el aceite lubricante a través de una ranura en diagonal o de salida lateral al no bastar la cantidad de lubricante.

En las superficies planas de deslizamiento se consigue la cuña de lubricación achaflanando e inclinando las superficies.

#### **4.1.5 GENERALIDADES SOBRE COJINETES DE EMPUJE AXIAL.**

Los cojinetes de pivote de apoyo plano o el anular pueden generar tan solo pequeñas presiones de lubricación (rozamiento semifluido) por falta de ángulo de incidencia entre las superficies deslizantes, por eso sola se emplea para presiones medias entre 3 y 8 Kg./cm<sup>2</sup> y velocidades de deslizamiento de 5 a 10 m/seg.; o bien, se consigue mayores mediante bomba y circuito para corriente forzada de aceite.

Para cargas axiales pequeñas o medianas y si la velocidad es reducida generalmente son más adecuados cojinetes de rodamiento.

La lubricación (distribución del aceite) en estos cojinetes de empuje axial, es siempre radial alimentándose desde el centro hacia la periferia.

#### **4.1.6 PROPIEDADES DESEABLES EN UN METAL ANTIFRICCION**

La efectividad de las superficies de deslizamiento depende aparte de las condiciones de funcionamiento (carga, velocidad, lubricación) de la asociación de formas (juego radial, calidad de superficies) y de la asociación de los materiales de las superficies deslizantes.

Entre las propiedades más deseables de los materiales tenemos:

- a)** Que se pueda alisar al máximo sus superficies.
- b)** Que se humedezcan bien y fácilmente.
- c)** Que no se engrane o agarrote cuando marcha en seco (propiedad de emergencia)
- d)** Que no se dilate ni se hinche irregularmente
- e)** Que posea suficiente resistencia estática y dinámica, resistencia al calor y a la corrosión.
- f)** Sea buen conductor del calor.
- g)** Que se adhiera bien al material de base cuando se usa como material de forro o recubrimiento.

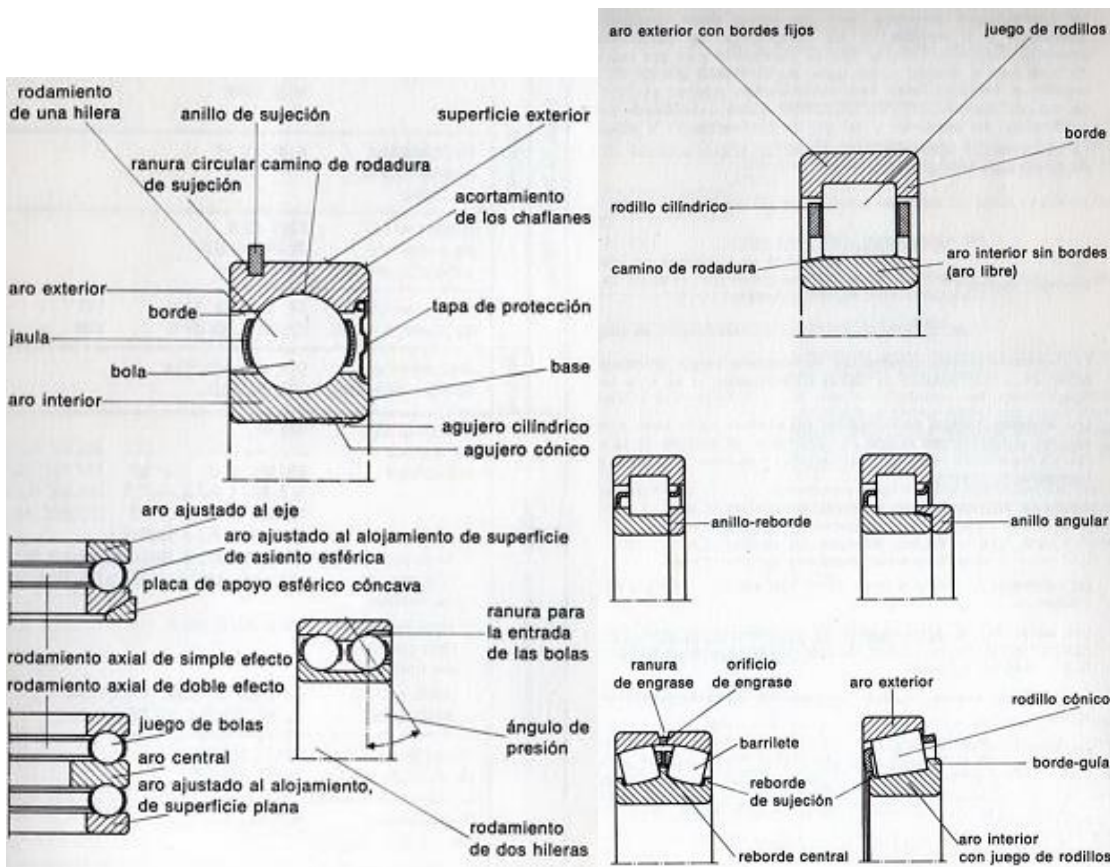
Las propiedades de la 1 a la 3 se requieren solo para los casos de rozamiento no fluido. En cuanto a la superficie del árbol se desea que sea una superficie lisa y dura.

## 4.2 COJINETES DE RODADURA (RULEMANES).

### 4.2.1 GENERALIDADES.

Un rodamiento, es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste, sirviéndole de apoyo y facilitando su desplazamiento.

### 4.2.2 DENOMINACIONES

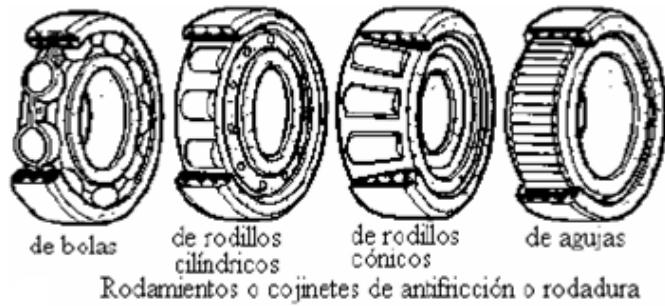


Rodamiento de bolas

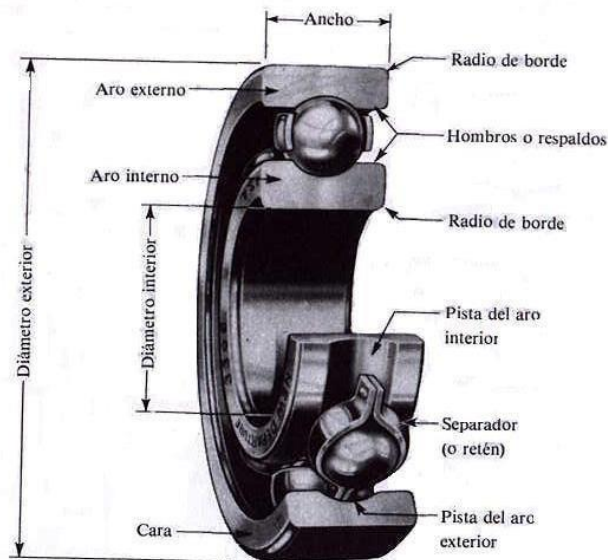
Rodamiento de rodillos

Figura 4.1

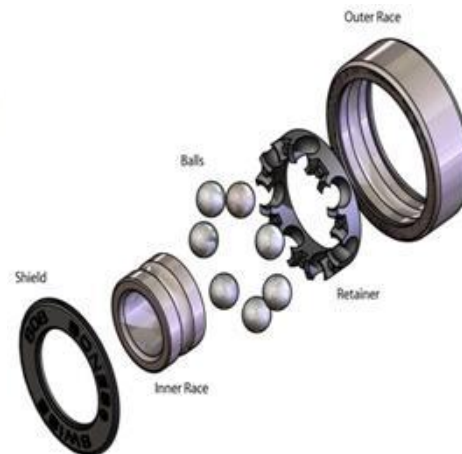
### 4.2.3 CLASIFICACION



Los rodamientos pueden ser de bolas o de rodillos. Se agrupan en rodamientos radiales y rodamientos axiales según como sea la carga principal que deban soportar. La mayoría de los rodamientos radiales pueden soportar cargas axiales; y algunos axiales, pueden resistir cargas radiales por eso no existe una separación neta, entre ambos tipos.



**Figura 4.3**



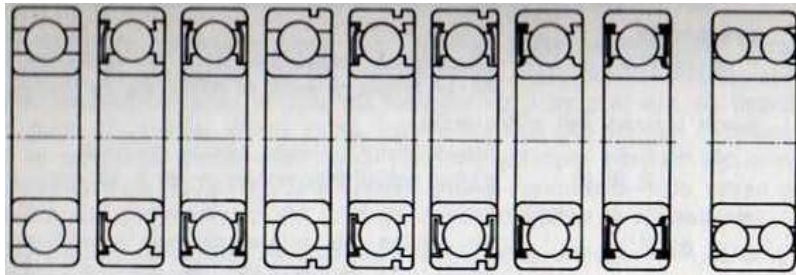
**Figura 4.4**

Los rodamientos están contruidos por dos aros, uno solidario con el eje y el otro con el soporte, un juego de cuerpos rodantes y un porta bolas o porta rodillos capaz de separar los cuerpos rodantes, mantener la equidistancia entre ellos y de impedir su salida.

Para elegir el rodamiento mas apropiado deberá tenerse en cuenta, la dirección de la carga preponderante, y su intensidad; la dirección e intensidad de la carga transversal; el factor "vida", dependiente de la duración asignada al rodamiento, el factor seguridad dependiente del efecto que tiene las variaciones de carga sobre la distribución de las deformaciones; los factores respectivos de

las cargas radial y axial efectivas, que producen por simple adición la carga efectiva equivalente.

#### 4.2.3.1 Rodamientos radiales rígidos de bolas

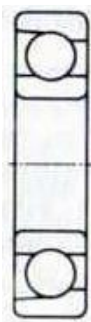


a b c d e f g h i **figura 4.5**

La **Figura 4.5 a-h** muestra un rodamiento radial de una hilera de bolas. Se adopta en aplicación en donde no existen desviaciones o flexiones del árbol. Las ranuras, tanto del anillo exterior como interior que sirven de pista a los elementos rodantes son de profundidad considerable en función de su ancho. Presentan diámetros exteriores y anchos apropiados de acuerdo a las cargas a soportar. La **Figura 4.5 i** representa un rodamiento de dos hileras de bolas; se utilizan para soportar cargas mayores y al mismo tiempo mayor superficie de apoyo y para no aumentar las dimensiones de los elementos rodantes.

Ambos tipos admiten pequeñas cargas o empujes axiales.

#### 4.2.3.2 Rodamiento desmontable de bolas



**Figura 4.6**

Son rodamientos desmontables con aro exterior desmontable. El aro exterior tiene a un lado un resalte, en el otro lado el camino de rodadura se vuelve cilíndrico. Debido a esta característica de construcción se puede hacer el montaje con un pequeño juego axial para compensar un cambio de longitud



debido a cambios de temperatura. La transmisión de fuerzas axiales de pequeña magnitud es posible. El montaje separado del aro interior con el juego de bolas y del aro exterior intercambiabile permite asientos fijos para ambos.

#### 4.2.3.3 Rodamientos de bolas de contacto angular.

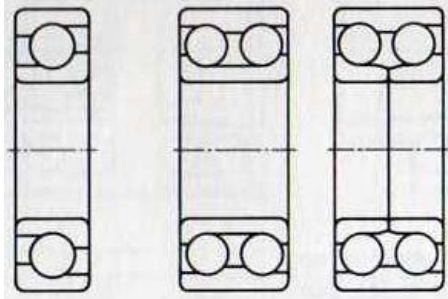


Figura 4.7

Los rodamientos de bolas de contacto angular son ejecutados con una o dos hileras de bolas. Los rodamientos de una hilera de bolas no son desmontables y presentan en forma estándar un ángulo de presión de 40 grados y son aptos para resistir cargas radiales y axiales en un solo sentido, pues en el sentido contrario se desmontan sus componentes. (Fig.4.7). Estos rodamientos pueden montarse en tres diferentes formas según la Figura 4.8

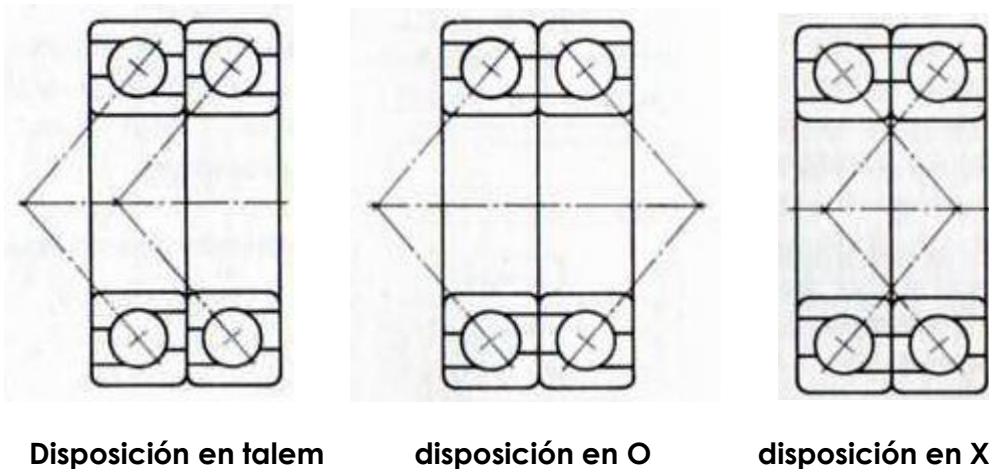
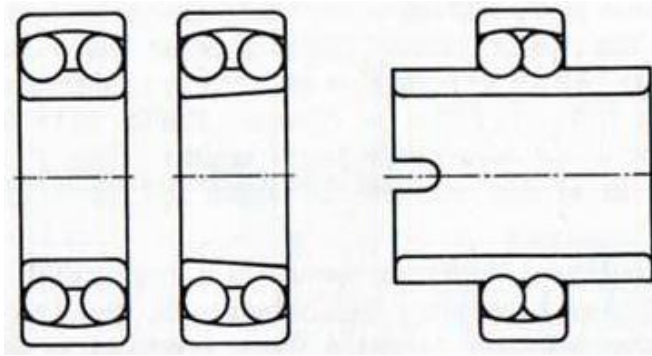


Figura 4.8

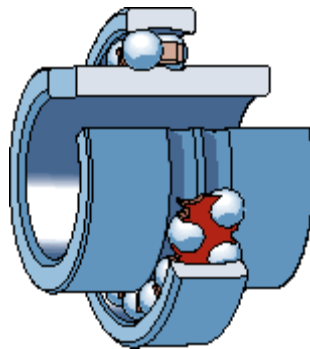
#### 4.2.3.4 Rodamiento oscilante de bolas.



**Figura 4.9**

Los rodamientos oscilantes de bolas son rodamientos de dos hileras de bolas con dos caminos de rodadura separado en el aro interior y un camino de rodadura cóncavo común en el aro exterior el cual presenta una acanaladura interna del tipo esférico cuyo radio parte del centro del rodamiento, **(Fig. 4.9)**. Esto permite que el anillo interior pueda colocarse en cualquier posición angular dentro de ciertos límites. Es apropiado para aplicaciones en las que no existe una perfecta axialidad, entre el árbol y el apoyo, cuando se producen desnivelaciones o flexiones en el árbol mismo. No admite cargas axiales. La capacidad de carga de estos rodamientos es inferior al de los rodamientos rígidos de bolas y pueden soportar al igual que los rígidos de bolas una carga axial pero de menor magnitud.

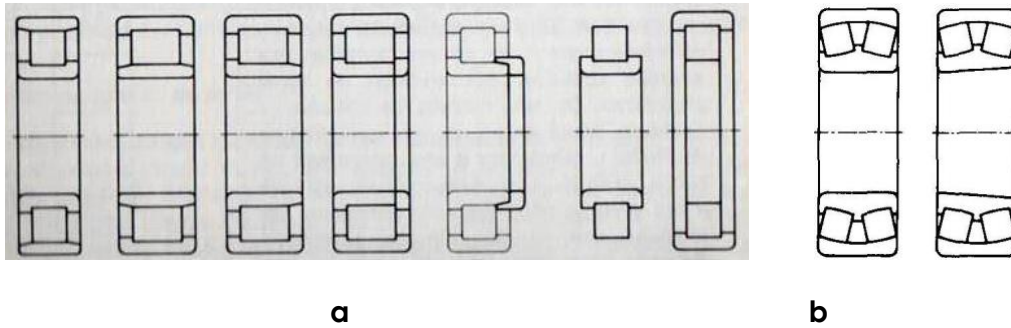
#### **4.2.3.5 Rodamiento radial con manguito cónico de sujeción**



**Figura 4.10**

El anillo interno está montado sobre un manguito cuya superficie interior es cilíndrica y la exterior es cónica. Presenta un corte según la generatriz, y rosca fina en un extremo, sobre la cual actúa una tuerca. Permite ajustar el rodamiento sobre el árbol en el lugar deseado y se aplica tanto a los rodamientos rígidos, como a los de rotula, de una o dos hileras de bolas.

#### **4.2.3.6 Rodamiento rodillos cilíndrico.**



**Figura 4.11**

Los rodamientos de rodillos cilíndricos son rodamientos radiales de rodillos. Los diferentes tipos resultan de la configuración de las pestañas en los aros de los rodamientos.

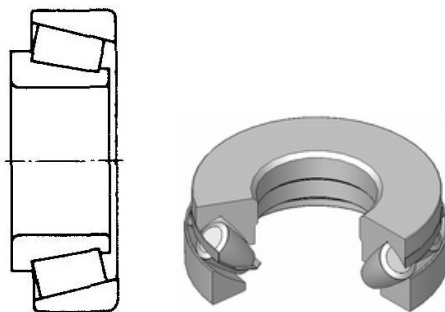
Se utilizan tres tipos principales y un cuarto que es derivado de estos:

- a)** Rodamiento rígido de rodillos cilíndrico
- b)** Rodamiento de rodillos oscilantes (de rotula o de perfil esférico).
- c)** Rodillos a rotula con manguito de sujeción cónico.

Estos tipos presentan la ventaja, sobre los de bolas de soportar cargas de 2 y hasta 3 veces superior con dimensiones totales similares.

El cuarto tipo, esta constituido por los rodamientos a agujas, que son capaces de resistir grandes cargas y ocupan radialmente pequeños espacios. Existen tres tipos básicos. Los que poseen las dos cubetas exterior e interior; lo que tienen solo una de ellos, los que están constituidos tan solo por los rodillos y la jaula que le sirve para mantenerlos en posición.

#### 4.2.2.6 Rodamientos de rodillos cónicos



**Figura 4.12**

Estos rodamientos se montan casi siempre de a pares e invertidos, tienen una elevada capacidad de carga, ya sea radial o axial; esta última, solo en un sentido pues en el otro hace que se separen los componentes de mismo. El anillo

exterior, recibe el nombre de cubeta y el interior que es el que permite fijarlo al eje, cono. Ambas partes son separables, pero ello en la mayor parte de los casos malogra la jaula arruinando el rodamiento. Las generatrices de los rodillos, así como las superficies del rodamiento, convergen en un punto único del eje longitudinal, fuera del rodamiento.

#### 4.2.2.7 Rodamientos de rodillos cónicos de gran empuje axial

Cuando las cargas tanto radiales como axiales son importantes ha de recurrirse a un rodamiento de rodillos cónicos de mayor ángulo, que permita absorber las componentes axiales de la carga portante.

#### 4.2.2.8 Rodamientos axiales simples (Crapodinas).

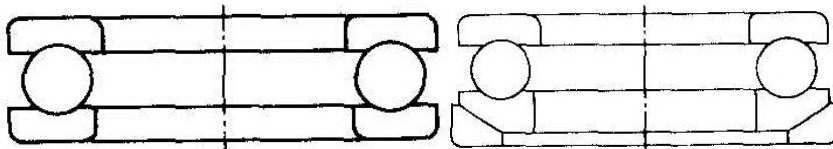


Figura 4.13

Estos rodamientos están compuestos por tres partes perfectamente separables. Posee un anillo superior de apoyo plano sobre el pivote (apoyo o asiento del cojinete) y un anillo inferior de apoyo plano o esférico; en este último caso, tendrá una adaptación para su montaje. El anillo inferior tiene diámetro interior levemente mayor, para que no apoye en el eje.

#### 4.2.2.9 Rodamientos axiales de doble empuje.

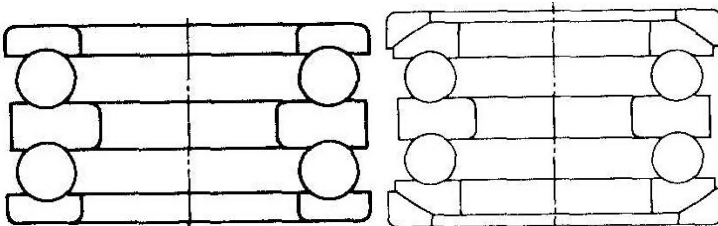


Figura 4.14

Se emplean para el caso de empujes axiales de distinto sentido; tal como se producen en reductores de velocidad, a tornillo sin fin, cuando tienen la posibilidad de girar en ambos sentidos.

Este tipo de rodamiento, posee tres anillos, siendo el central de menor diámetro interior que es el que permite el anclaje del rodamiento, al eje.

#### 4.2.2.10 Rodamientos axiales de rodillo cónicos

En caso de tener necesidad de transmitir grandes esfuerzos axiales, en relativamente pequeñas dimensiones, se utilizan rodamientos de este tipo.

#### 4.2.2.11 Algunas consideraciones y elementos a tener en cuenta en la selección de un rodamiento

a) **Coefficientes de rozamiento:** En algunas ocasiones suele tener importancia, para la determinación exacta de la potencia perdida por rozamiento. Se han obtenido coeficientes que varían de acuerdo al tipo de rodamiento; dicho valores del coeficiente de rozamiento a la rodadura, se encuentra tabulados y algunos de ellos se exponen a continuación:

TIPO DE RODAMIENTO	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO
Bolas o rotula	0.0010
Rodillos cilíndricos cortos	0.0011
Axiales de bolas	0.0013
Rígidos de una hilera de bolas	0.0015
Rodillos cónicos	0.0018
De agujas	0.0045

El par de rozamiento se calcula por la expresión:

$$M = \mu_r F \frac{d}{2}$$

Donde F = carga del rodamiento; d = diámetro del agujero del rodamiento.

b) **capacidad de carga dinámica y vida:** Se denomina vida de un rodamiento, el periodo de servicio del mismo; es decir hasta su desgaste o fatiga. La vida, se mide por el número de revoluciones de rodamiento, o por su número de horas de funcionamiento a velocidad constante. Por experimentación, se llego a determinar que a carga constante (F) se tiene una determinada vida (L) y a menor carga corresponde mayor vida útil. La ecuación que expresa esta situación es:

$$\frac{F_1}{F_2} = \sqrt[3]{\frac{L_2}{L_1}} \quad (4.1)$$

O sino:

$$F_1^3 \sqrt[3]{L_1} = F_2^3 \sqrt[3]{L_2} \quad (4.2)$$

También puede calcularse la capacidad de carga dinámica C, la que corresponde a una vida de un millón de revoluciones.

**a) carga equivalente:** De las expresiones vistas se deduce que la vida no es inversamente proporcional a la carga, sino a su tercera potencia. Una carga excepcionalmente intensa, aunque muy breve, puede influir considerablemente en la vida del rodamiento. El cálculo de la carga media constante, que da la misma vida que reemplaza a la verdadera carga variable, es bastante trabajoso y se recurre entonces a un método gráfico. La carga equivalente debe tener en cuenta también la coexistencia de fuerzas radiales y axiales que actúan efectivamente sobre el rodamiento.

La experimentación permite la siguiente expresión simplificada, aplicada a rodamientos radiales:

$$P = XF_r + YF_a \quad (4.3)$$

Donde:

P = carga equivalente

F<sub>r</sub> = componente radial

F<sub>a</sub> = componentes axiales de las cargas actuantes

X = factor de rotación, expresa el efecto que produce la rotación sobre el elemento.

Y = factor axial del rodamiento, es un valor de conversión de las cargas axiales.

En los rodamientos axiales la carga axial equivalente **P<sub>a</sub>** se puede expresar utilizando la misma notación explicada mas arriba.

$$P_a = F_a + \frac{X}{Y} F_r \quad (4.4)$$

Y haciendo:

$$Y_a = \frac{X}{Y} \quad (4.5)$$

Nos queda escrita:

$$P_a = F_a + Y_a P_r \quad (4.6)$$

**d) factor de seguridad:** La capacidad de carga estática, debe ser tenida en consideración en los casos de rodamientos de baja velocidad de rotación. Dad que para una vida corta en millones de revoluciones, podría resultar una

carga estática no real y excesivamente alta para el rodamiento. Esto obliga a introducir un factor de seguridad  $S_0$  que toma en cuenta la naturaleza de la carga actuante. Si existen cargas de choque demasiado instantáneas, cuya duración es sensiblemente inferior al tiempo en que el rodamiento completa una rotación, deberá elegirse un rodamiento de mayor resistencia a las cargas estáticas.

En la práctica se utiliza la expresión:

$$C_0 = S_0 P_0 \quad (4.7)$$

Donde:

$C_0$  = es la capacidad de carga estática

$P_0$  = carga estática equivalente

$S_0$  = factor de seguridad

$S_0$  tiene distintos valores de acuerdo al tipo de trabajo al que estará sometido el rodamiento.