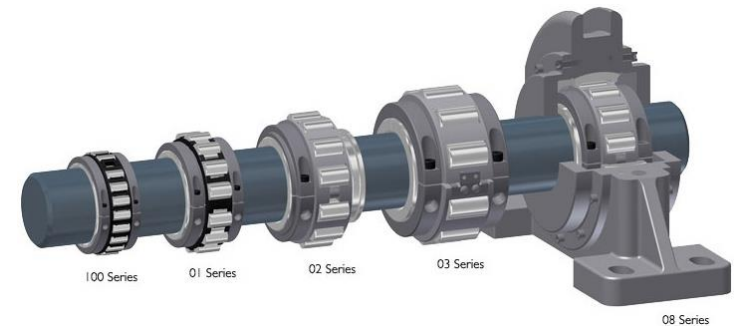


# III. Cojinetes de contacto rodante

## Objetivo:

1. Definir que son cojinetes y que son cojinetes de contacto rodante.
2. Reconocer las partes principales de los cojinetes de contacto rodante.
3. Reconocer algunos de los cojinetes de bolas y de rodillos típicos.
4. Comprender como se arman los cojinetes de bola.
5. Definir la vida básica de un cojinete.
6. Definir la vida básica modificada de un cojinete.
7. Hacer la relación entre vida-carga-confiabilidad en un cojinete de contacto rodante.
8. Determinar la carga equivalente dinámica.
9. Mostrar el proceso de selección del cojinete.
10. Hacer algunos comentarios generales del montaje, alojamiento, y lubricación de los cojinetes.
11. Hacer algunos comentarios generales referentes a fallas en cojinetes.

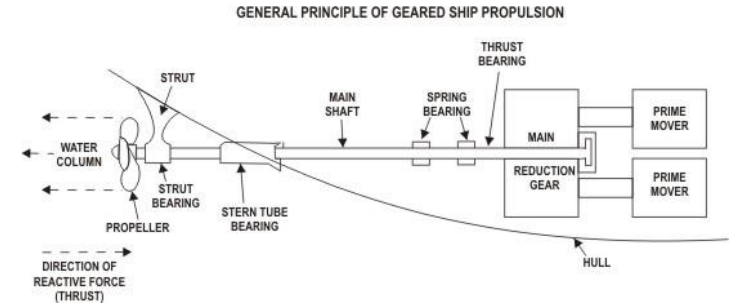
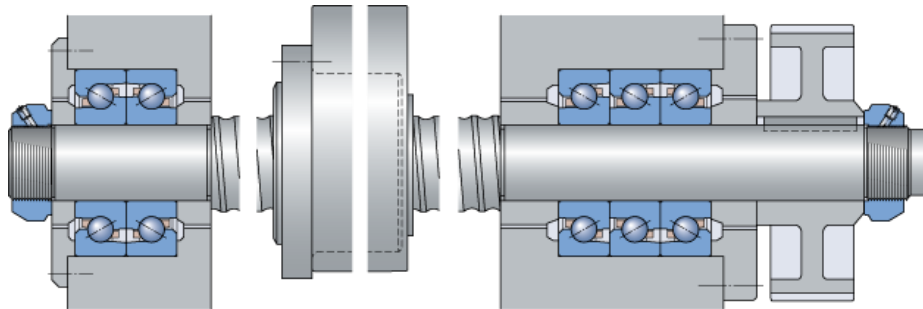


# III. Cojinetes de contacto rodante

## 1. Definición y aplicación de los cojinetes

Un cojinete es un elemento de máquina que limita el movimiento relativo a un solo movimiento deseado.

Típicamente se utilizan para soportar elementos rotatorios y para transmitir movimiento entre aquellos elementos que no se encuentran en contacto directo.



# III. Cojinetes de contacto rodante

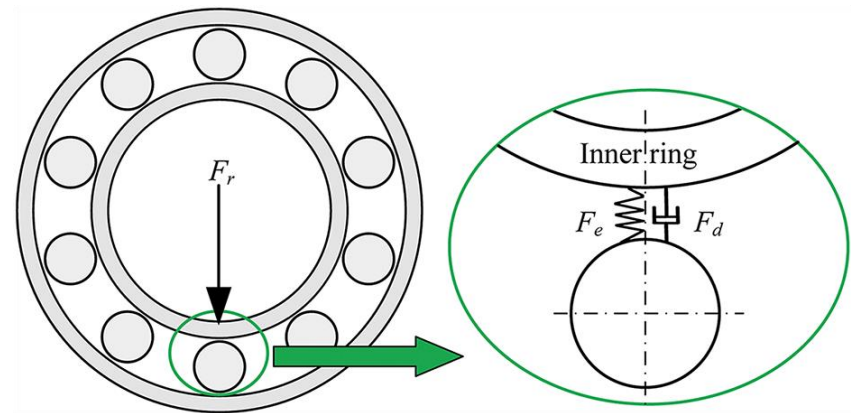
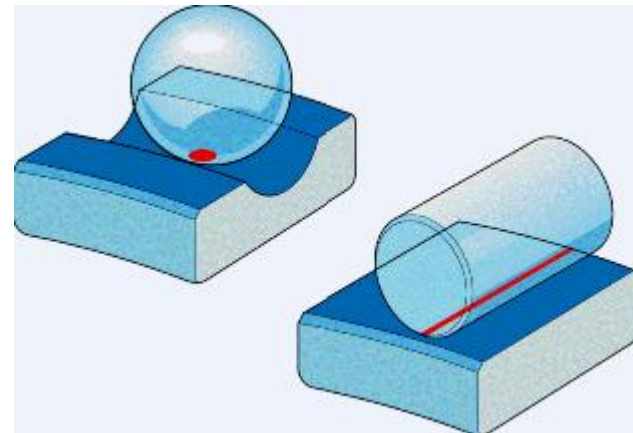
## 2. Cojinetes de contacto rodante

Estos cojinetes son aquellos en donde la carga principal es transferida a los elementos del cojinete a través de contacto rodante en vez de contacto deslizante.

Existen tanto cojinetes de bolas como de rodillos.

La carga, la velocidad, y viscosidad de operación del lubricante afectan las características asociadas a la fricción de un cojinete de rodamiento.

Ha de decirse que en el caso de los cojinetes de contacto rodante no se diseña el cojinete sino que se selecciona alguno de acuerdo con los requerimientos de nuestro diseño.

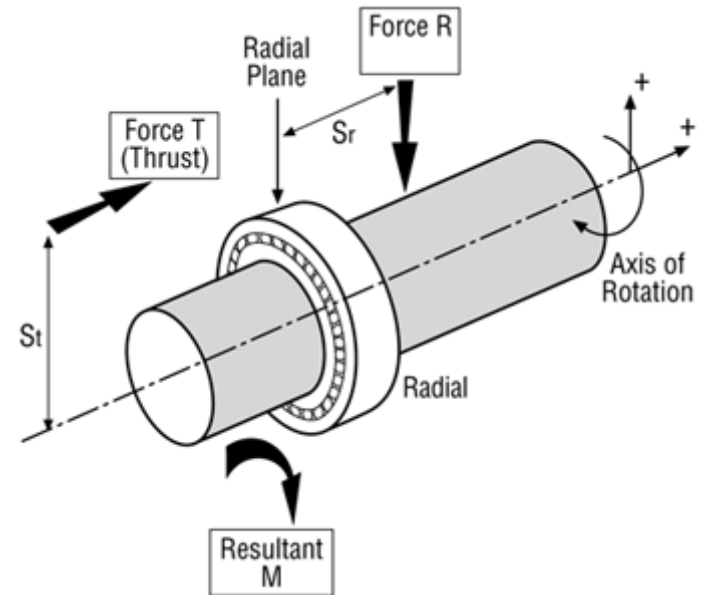
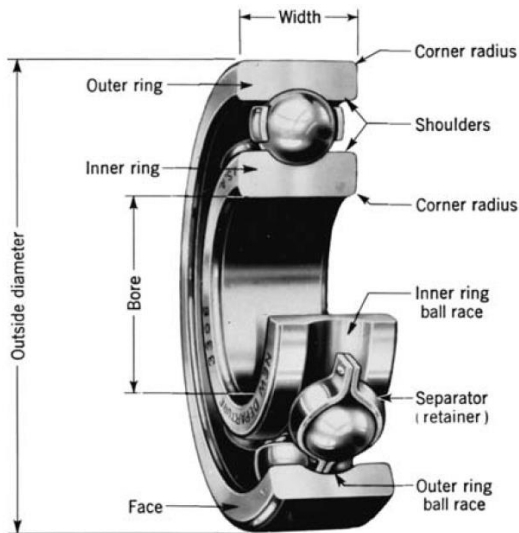


# III. Cojinetes de contacto rodante

## 3. Partes, tipos de cojinetes de contacto rodante, y su ensamblaje

Los cojinetes de contacto rodante son manufacturados para que soporten cargas radiales, cargas axiales, o una combinación de estos tipos de carga.

### Partes de un cojinete de contacto rodante de bolas



# III. Cojinetes de contacto rodante

## 3. Partes, tipos de cojinetes de contacto rodante, y su ensamblaje

### Tipos de cojinetes rodantes

La mayoría de los fabricantes en sus folletos describen los varios tipos de cojinetes rodantes disponibles. Aquí solo se mencionan algunos.

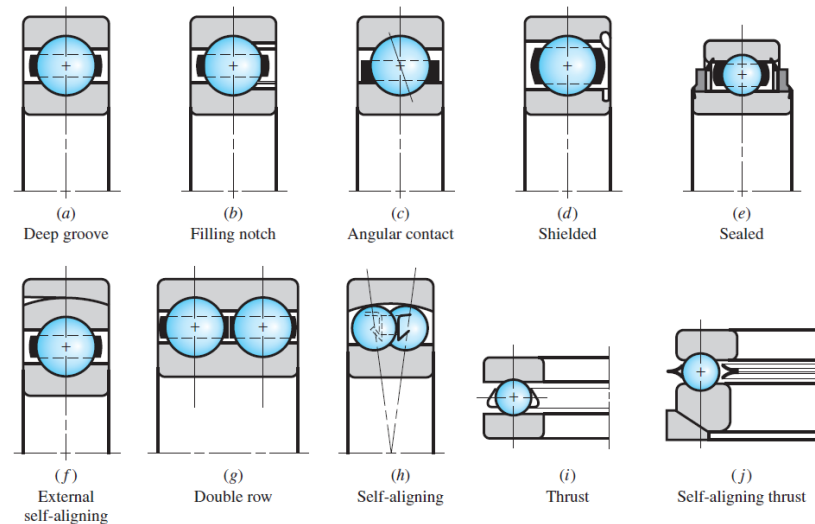
a) Cojinete de bolas de ranura profunda: Maneja principalmente carga radial y algo de carga axial.

b) Cojinete de bolas con abertura de entrada de bolas: Tiene mayor cantidad de bolas, y consecuentemente maneja más carga radial, pero menos carga axial.

c) Cojinete de bolas de contacto angular: Maneja mayor cantidad de empuje.

d) Cojinete de bolas con tapa o escudo: Presenta protección contra el polvo y suciedad.

e) Cojinete de bolas sellado: Presenta protección contra el polvo y suciedad.



# III. Cojinetes de contacto rodante

## 3. Partes, tipos de cojinetes de contacto rodante, y su ensamblaje

### Tipos de cojinetes rodantes

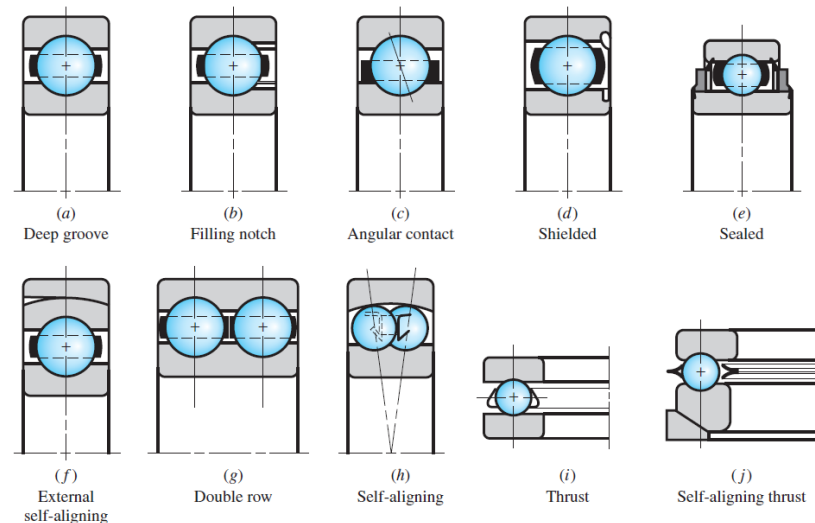
f) Cojinete de bolas con autoalineación externa: Soporta mayor desalineamiento.

g) Cojinete de bolas con doble fila de bolas: Toma el doble de carga que los cojinetes de bolas de una sola fila.

h) Cojinete de bolas autoalineante: Soporta mayor desalineamiento.

i) Cojinete de bolas de empuje o de carga axial: Solo maneja carga axial.

j) Cojinete de bolas de empuje, autoalineante: Soporta mayor desalineamiento.



# III. Cojinetes de contacto rodante

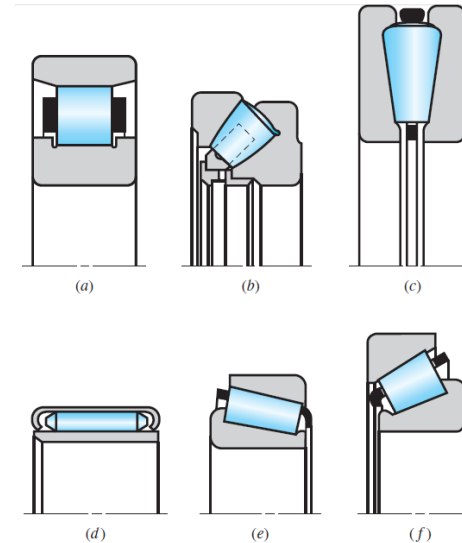
## 3. Partes, tipos de cojinetes de contacto rodante, y su ensamblaje

### Tipos de cojinetes rodantes

a) Cojinete de rodillos cilíndricos: Toma mayor cantidad de carga radial que los cojinetes de bolas (porque existe mayor contacto superficial), pero requiere de geometría perfecta, y no maneja cargas de empuje.

b) Cojinete de rodillos esféricos, de empuje: Útiles cuando se tienen cargas pesadas y desalineadas (el área de contacto aumenta con la carga).

c) Cojinete de rodillos cónicos, de empuje: Solo maneja carga axial.



# III. Cojinetes de contacto rodante

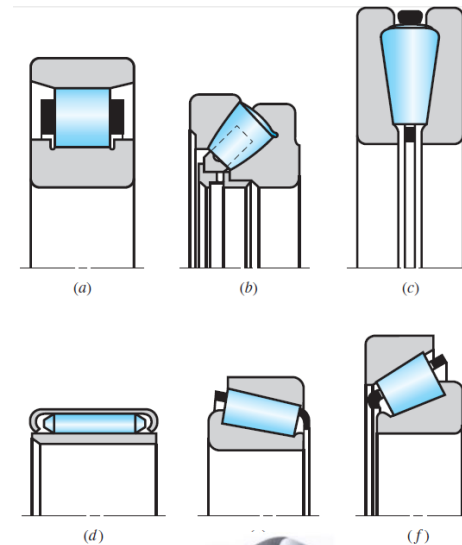
## 3. Partes, tipos de cojinetes de contacto rodante, y su ensamblaje

### Tipos de cojinetes rodantes

d) Cojinete de rodillos de agujas: Útiles cuando el espacio radial es limitado.

e) Cojinete de rodillos cónicos ordinarios: Soporta tanto cargas radiales como axiales (soporta mayor carga que los cojinetes de bolas).

f) Cojinete de rodillos cónicos de amplio contacto angular: Soporta tanto cargas radiales como axiales (soporta mayor carga que los cojinetes de bolas).



Tipo de rodamiento	Capacidad de carga radial	Capacidad de carga axial o de empuje	Capacidad de desalineación
Bola de hilera única	Buena	Aceptable	Aceptable
Bola de doble hilera	Excelente	Buena	Aceptable
Contacto angular	Buena	Excelente	Pobre
Rodamiento cilíndrico	Excelente	Pobre	Aceptable
Rodamiento de aguja	Excelente	Pobre	Pobre
Rodamiento esférico	Excelente	Aceptable/Buena	Excelente
Rodamiento cónico	Excelente	Excelente	Pobre



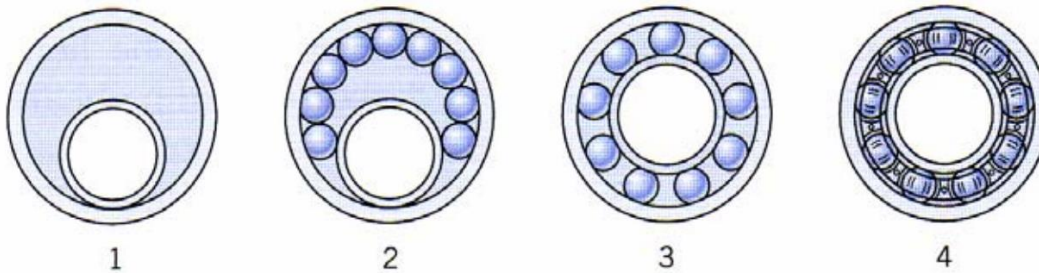


# III. Cojinetes de contacto rodante

## 3. Partes, tipos de cojinetes de contacto rodante, y su ensamblaje

### Ensamblaje de un cojinete de bolas

- (1) Se mueve el aro interior a un lado del aro exterior.
- (2) Se trata de obtener la mayor holgura entre el aro interior y el exterior, y se insertan las bolas en la apertura.
- (3) Se distribuyen las bolas uniformemente, centrando el aro interior con respecto al aro exterior.
- (4) Se coloca el separador (reten).



## 4. Vida del cojinete

Cuando la bola o rodillo del cojinete de contacto rodante gira, ocurren esfuerzos en el anillo interior, en el elemento rodante, y en el anillo exterior.

Sí un cojinete se mantiene limpio y bien lubricado, se monta y se sella contra la entrada de suciedad o polvo, se conserva en esta condición y opera a temperaturas razonables, entonces la fatiga del material será la única causa de falla.

En vista de que la fatiga del metal implica, en la mayoría de los casos, millones de ciclos en donde se aplican cargas y consecuentes estados de esfuerzo, se requiere de una forma cuantitativa de medir la vida del cojinete.

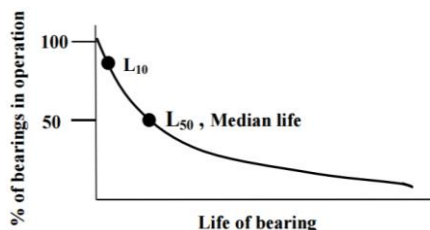
La duración o vida útil de un cojinete se define como el número total de revoluciones del anillo interior (estando el anillo exterior estacionario), o el número total de horas de giro a una velocidad angular determinada, de operación del cojinete para que se produzca la falla.

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 4. Vida del cojinete

La vida nominal básica de un cojinete o  $L_{10}$  es definida por la ISO y los estándares de la ABMA (*American Bearings Manufacturers Association*) como la vida que el 90% de un grupo suficientemente grande de cojinetes aparentemente idénticos puede alcanzar o exceder.  $L_{10}$  es función de la carga dinámica básica del cojinete ( $C_{10}$ , *basic dynamic load rating*), de la carga dinámica equivalente del cojinete ( $F_{eq}$ , *equivalent dynamic load*) que a su vez depende de las cargas y factores radiales y axiales del cojinete, y de una constante ( $a$ ) que es igual a 3 para los cojinetes de bolas y  $10/3$  para los cojinetes de rodillos.

$$L_{10} = \left( \frac{C_{10}}{F_{eq}} \right)^a \times 10^6 \quad (\text{revoluciones})$$



Type of Application	Life, kh
Instruments and apparatus for infrequent use	Up to 0.5
Aircraft engines	0.5–2
Machines for short or intermittent operation where service interruption is of minor importance	4–8
Machines for intermittent service where reliable operation is of great importance	8–14
Machines for 8-h service that are not always fully utilized	14–20
Machines for 8-h service that are fully utilized	20–30
Machines for continuous 24-h service	50–60
Machines for continuous 24-h service where reliability is of extreme importance	100–200

## Vida básica del cojinete modificada para tomar en cuenta la lubricación y la contaminación

¿Qué es  $L_{10m}$ ?

$L_{10m}$  es la vida básica de un cojinete modificada, la cual es función de  $C_{10}$ ,  $F_{eq}$ ,  $a$  pero a su vez depende de un factor modificador de esfuerzo,  $a_{skf}$ .

$$L_{10m} = a_{skf} \left( \frac{C_{10}}{F_{eq}} \right)^a \times 10^6 \quad (\text{revoluciones})$$

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 4. Vida del cojinete

Vida básica del cojinete modificada para tomar en cuenta la lubricación y la contaminación

¿Cómo se compara  $L_{10}$  con  $L_{10m}$ ?

Al comparar las ecuaciones previamente escritas se puede ver claramente que  $L_{10m}$  no es más que  $L_{10}$  multiplicado por un factor de ponderación. En términos generales si  $a_{skf}$  es mayor a la unidad la vida  $L_{10m}$  será mayor que la vida básica, en tanto que, si es menor que 1 dicha vida será inferior a la vida  $L_{10}$ .

¿Qué es  $a_{skf}$  y como afecta a  $L_{10m}$ ?

Como ya se comentó,  $a_{skf}$  es el factor que modifica la vida básica en la vida  $L_{10m}$  y dependiendo de si es mayor o menor a la unidad así mismo la vida  $L_{10m}$  puede ser mayor o menor que la vida básica.

$a_{skf}$  es un factor que depende del límite de fatiga del cojinete ( $P_u$ , *fatigue load limit*), un conjunto de constantes positivas ( $w, c, e$ ), de la carga dinámica equivalente del cojinete ( $F_{eq}$ , *equivalent dynamic load*), y de un factor de penalidad ( $\eta$ ) el cuál varía entre 0 y 1 y que depende dos factores, uno asociado a la lubricación ( $\eta_b$ , *lubrication factor*) y otro asociado a la contaminación ( $\eta_c$ , *contamination factor*).

$$a_{skf} = \frac{1}{10} \left[ 1 - \left( \eta \frac{P_u}{F_{eq}} \right)^w \right]^{-c/e}, \quad \eta = \eta_b \cdot \eta_c$$

Donde  $0 \leq \eta \leq 1$ . Aquí evidentemente cuando  $\eta$  tienda a 0,  $a_{skf} \cong 1/10$  y por lo tanto  $L_{10m} < L_{10}$ . Esto último es típico cuando hay contaminación y/o mala lubricación.

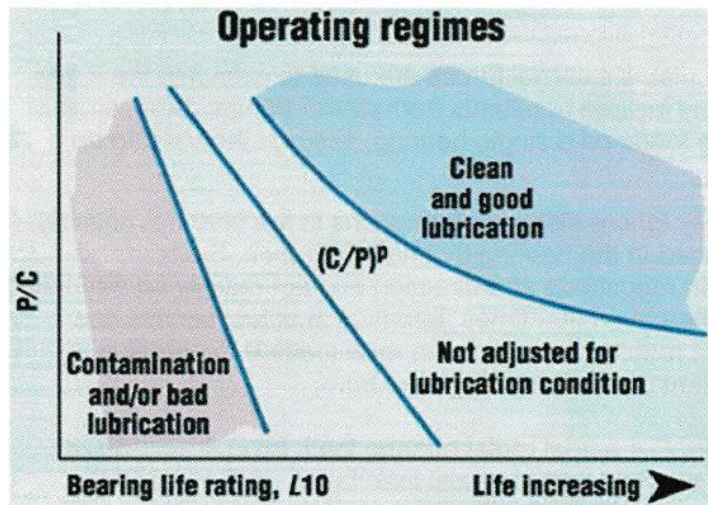
# III. Cojinetes de contacto rodante

## 4. Vida del cojinete

Vida básica del cojinete modificada para tomar en cuenta la lubricación y la contaminación

¿Qué es  $a_{skf}$  y como afecta a  $L_{10m}$ ?

En la figura siguiente pueden observarse tres curvas; una de ellas representa la vida  $L_{10}$  básica, otra la vida  $L_{10}$  modificada cuando existe mala lubricación y/o contaminación, y la última curva representa la vida  $L_{10}$  cuando hay buena lubricación y prácticamente no se observan partículas contaminantes.



## Confiabilidad

La confiabilidad,  $R$ , es la medida estadística (porcentaje) de probabilidad de que el cojinete funcionará de la forma esperada. La confiabilidad tiene que ver con la probabilidad de falla,  $p_f$ . La probabilidad de falla está dada por la razón del número de cojinetes que han fallado entre el número total de cojinetes.

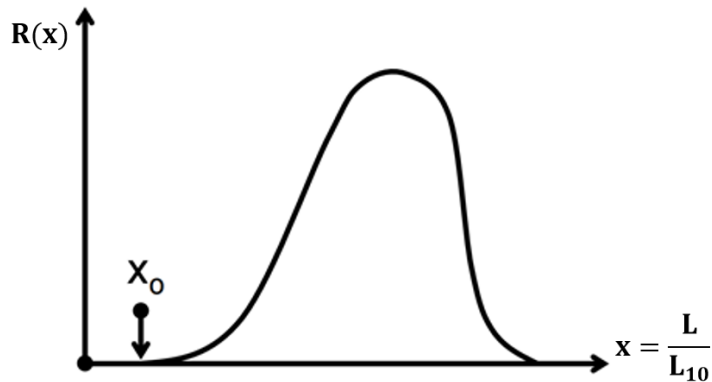
$$R = 1 - p_f, \quad 0 \leq R \leq 1$$

La confiabilidad también puede ser relacionada con la vida de un cojinete para una carga constante dada, por medio de la distribución de Weibull

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 4. Vida del cojinete

### Confiabilidad

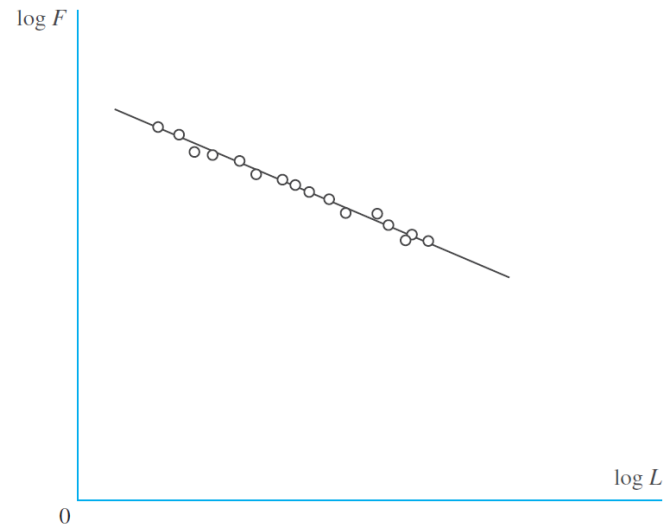


$$R(x) = e^{\left[-\left(\frac{x-x_0}{\theta-x_0}\right)^b\right]}$$

Donde:  $x = L/L_{10}$  es la vida adimensional,  $x_0$  es el valor mínimo o garantizado que puede tener  $x$ ,  $\theta$  es un parámetro característico (en el caso de los cojinetes de contacto rodante corresponde al valor del 63.2121 del percentil de  $x$ ),  $b$  es un parámetro forma (para los cojinetes de contacto rodante suele ser cercano a 1.5). Tanto  $b$  como  $\theta$  usualmente se obtienen de data experimental.

## 5. Carga dinámica básica o carga de catálogo ( $C_{10}$ )

Cuando grupos nominalmente idénticos de cojinetes son probados para algún criterio de vida-falla a diferentes cargas, la data encontrada se suele graficar en un gráfico log-log.



Dicho gráfico muestra que existe un aparente comportamiento lineal y por lo tanto aquí:

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 5. Carga dinámica básica o carga de catálogo ( $C_{10}$ )

$$\log F = -A_1 \log L + A_2$$

$$\log F + \log L^{A_1} = A_2$$

$$\text{antilog}[\log(FL^{A_1})] = \text{antilog}(A_2)$$

$$FL^{A_1} = \text{antilog}(A_2)$$

$$FL^{1/a} = K = \text{cnst}$$

Donde evidentemente  $A_1 = 1/a$ , y  $k = \text{antilog}(A_2)$ . Aquí  $a$  como ya se comento es igual a 3 para los cojinetes de bolas y 10/3 para los cojinetes de rodillos.

Este gráfico puede ser obtenido para diferentes valores de confiabilidad. Los fabricantes típicamente presentan este gráfico para una confiabilidad de 0.90.

La carga radial que causa que el 10% de un grupo de cojinetes fallen a la vida básica considerada por el fabricante (típicamente  $1 \times 10^6$  ciclos) se conoce como *carga dinámica básica o carga de catálogo*.

Ahora bien, en caso de que se desee seleccionar un cojinete para una determinada condición de carga y para una cierta vida deseada, a una confiabilidad de 0.90, se puede realizar lo siguiente:

$$FL^{1/a} = \text{cnst}$$

$$F_R L_R^{1/a} = F_D L_D^{1/a}$$

Donde los subíndices  $R$  y  $D$  de forma respectiva se refieren a la carga y vida básica de acuerdo al fabricante, y a la carga y vida básica deseada en un diseño determinado.

Sí se desea expresar la vida básica en unidades de horas y no revoluciones, debe tenerse presente que:

$$L = 60\mathcal{L}n$$

Donde:  $L$  esta en revoluciones,  $\mathcal{L}$  esta en horas, y  $n$  en revoluciones/minutos.

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 5. Carga dinámica básica o carga de catálogo ( $C_{10}$ )

$$F_R(\mathcal{L}_R n_R 60)^{1/a} = F_D(\mathcal{L}_D n_D 60)^{1/a}$$

catalog rating, lbf or kN  $\uparrow$   
 rating life in hours  $\uparrow$   
 rating speed, rev/min  $\uparrow$

desired speed, rev/min  $\uparrow$   
 desired life, hours  $\uparrow$   
 desired radial load, lbf or kN  $\uparrow$

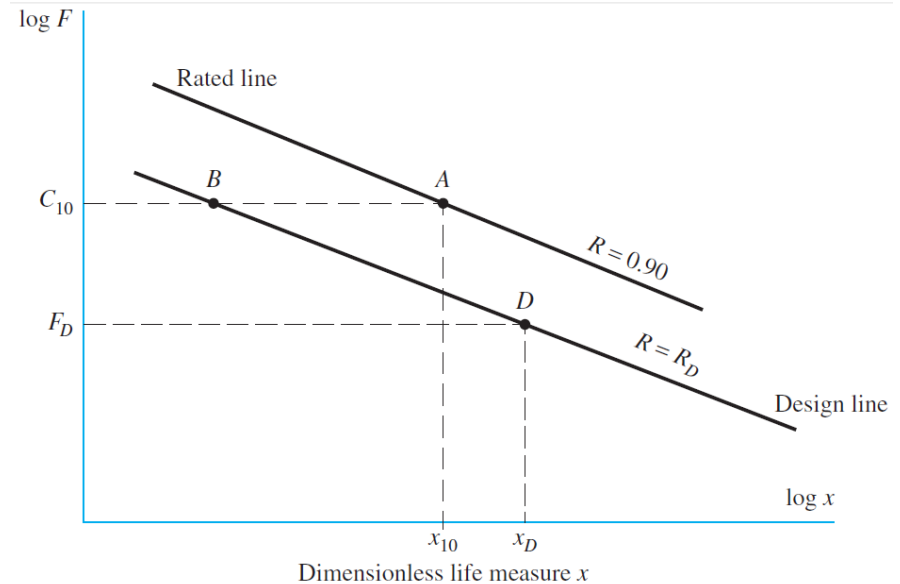
Aquí  $F_R = C_{10}$ , y  $L_R = L_{10}$ , por lo tanto:

$$C_{10} L_{10}^{1/a} = F_D L_D^{1/a}$$

$$C_{10} = F_D \left( \frac{L_D}{L_{10}} \right)^{1/a}$$

## 6. Relación entre vida-carga-confiabilidad

En ocasiones el diseñador puede desear una confiabilidad diferente a 0.90. En estos casos para determinar la carga dinámica básica se debe realizar lo siguiente:



En la línea de diseño,  $R = R_D$ , para pasar del punto D al punto B en donde se tendrá la carga dinámica básica, se mantiene que:

$$F_B L_B^{1/a} = F_D L_D^{1/a}$$

$$F_B \left( \frac{L_B}{L_{10}} \right)^{1/a} = F_D \left( \frac{L_D}{L_{10}} \right)^{1/a}$$

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 6. Relación entre vida-carga-confiabilidad

$$C_{10} = F_B = F_D \left( \frac{x_D}{x_B} \right)^{1/a}$$

Y teniendo presente que para una carga constante se puede emplear la distribución de Weibul para encontrar  $R(x)$  y así pasar de B a A:

$$R_D = e \left[ - \left( \frac{x_B - x_0}{\theta - x_0} \right)^b \right]$$

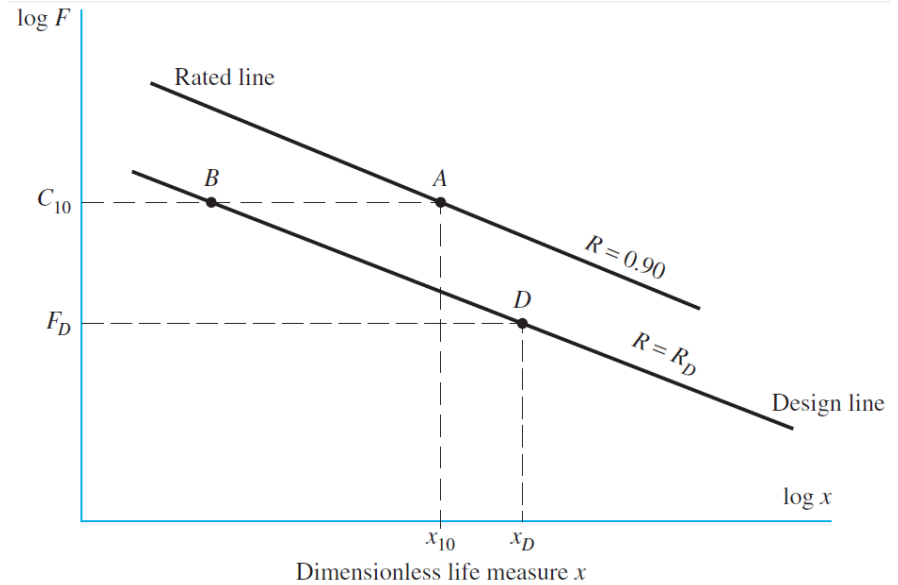
Despejando para  $x_B$ :

$$x_B = x_0 + (\theta - x_0) \left( \ln \frac{1}{R_D} \right)^{1/b}$$

Re escribiendo  $C_{10}$ :

$$C_{10} = F_D \left[ \frac{x_D}{x_0 + (\theta - x_0) \left( \ln \frac{1}{R_D} \right)^{1/b}} \right]^{1/a}$$

Teniendo en consideración un factor de aplicación,  $a_f$ :



$$C_{10} = a_f F_D \left[ \frac{x_D}{x_0 + (\theta - x_0) \left( \ln \frac{1}{R_D} \right)^{1/b}} \right]^{1/a}$$

Este factor de aplicación es análogo a un factor de seguridad que se emplea para considerar la posibilidad de que se incremente la carga de diseño.



# III. Cojinetes de contacto rodante

## 6. Relación entre vida-carga-confiabilidad

Cuando  $R \geq 0.90$ ,  $\ln \frac{1}{R_D} \cong (1 - R_D)$  y la expresión anterior podría re escribirse de la siguiente forma:

$$C_{10} \cong a_f F_D \left[ \frac{x_D}{x_0 + (\theta - x_0)(1 - R_D)^{1/b}} \right]^{1/a}$$

En la tabla siguiente se presentan algunos valores que típicamente se recomiendan para el factor de aplicación de carga,  $a_f$ .

Type of Application	Load Factor
Precision gearing	1.0–1.1
Commercial gearing	1.1–1.3
Applications with poor bearing seals	1.2
Machinery with no impact	1.0–1.2
Machinery with light impact	1.2–1.5
Machinery with moderate impact	1.5–3.0

En el caso de que se consideren varios cojinetes, generalmente la confiabilidad de los mismos será diferente. Sí se desea considerar la confiabilidad del conjunto de cojinetes como  $R$ , esta estaría dada por el producto de la confiabilidad individual de cada uno de dichos cojinetes. Por ejemplo si se tiene un par de cojinetes donde uno tiene una confiabilidad  $R_A$  y el otro una confiabilidad  $R_B$ , la confiabilidad del conjunto estaría dada por:

$$R = R_A R_B$$

## 7. Carga radial equivalente, $F_e$

Al momento solo se han considerado cargas radiales, sin embargo, un cojinete de bolas es capaz de resistir tanto cargas radiales como de empuje y las mismas se pueden considerar como una sola carga radial equivalente  $F_e$ .

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 7. Carga radial equivalente, $F_e$

Considerando que la carga axial o de empuje se denomine como  $F_a$  y la radial como  $F_r$ , y tomando en cuenta un factor de rotación  $V$  ( $V = 1$  cuando el anillo interno rota y 1.2 cuando el externo es el que rota), se pueden formar dos grupos adimensionales:  $F_e/(VF_r)$  y  $F_a/(VF_r)$ . Cuando dichos grupos se grafican se puede observar una curva que puede ser aproximada por medio de dos rectas.

La abscisa  $e$ , mostrada en el gráfico muestra el punto de intersección entre las dos líneas:

$$\frac{F_e}{VF_r} = 1, \quad \text{sí: } \frac{F_a}{VF_r} \leq e$$

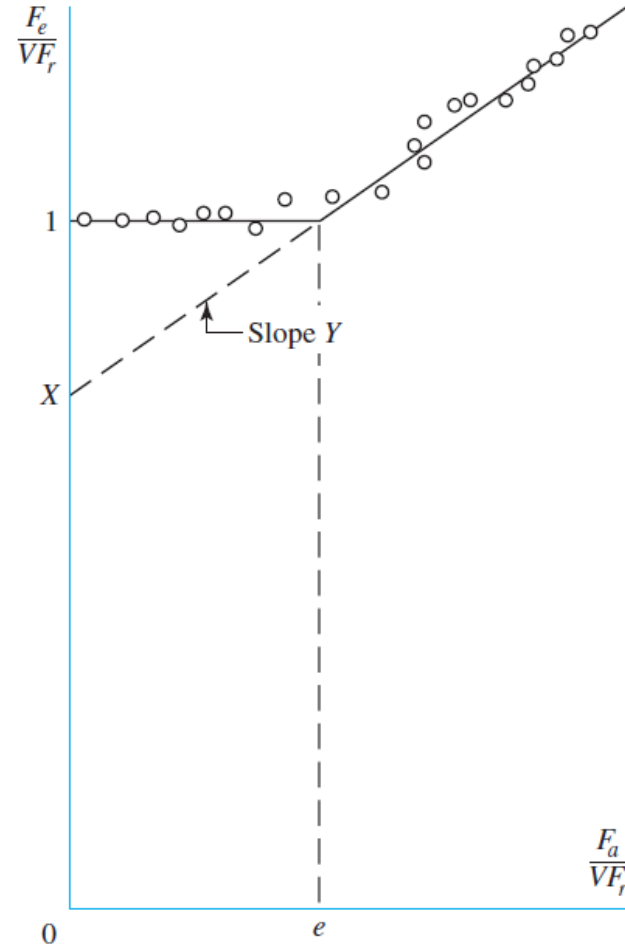
$$\frac{F_e}{VF_r} = X + Y \frac{F_a}{VF_r}, \quad \text{sí: } \frac{F_a}{VF_r} > e$$

Es común presentar estas dos ecuaciones en una sola expresión:

$$F_e = X_i VF_r + Y_i F_a$$

Donde:

- $i = 1$  cuando  $\frac{F_a}{VF_r} \leq e$
- $i = 2$  cuando  $\frac{F_a}{VF_r} > e$



# III. Cojinetes de contacto rodante

## 7. Carga radial equivalente, $F_e$

Los factores  $X$  y  $Y$  dependen de la geometría y de la construcción específica de los cojinetes.

En la tabla siguiente se presentan los valores de  $X_i$  y  $Y_i$  para cojinetes de bolas como funciones de  $e$ , y  $e$  a su vez como función de la razón  $F_a/C_0$ , donde  $C_0$  es la carga estática básica y es un valor proporcionado por los fabricantes de cojinetes en conjunto con  $C_{10}$ .

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

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

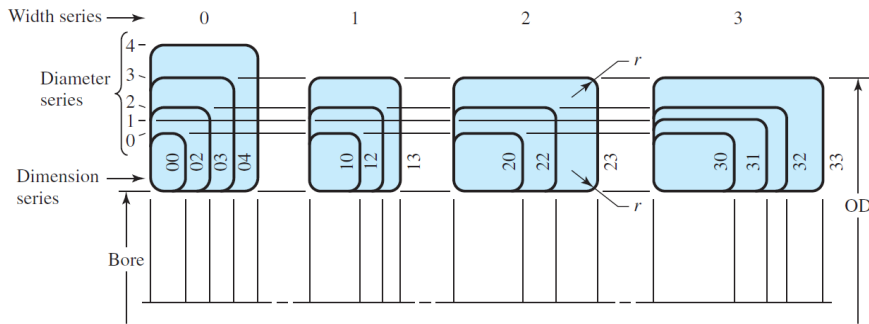
Ha de destacarse que el factor de rotación  $V$  es siempre 1 en cojinetes autoalineante.

La ABMA (*American Bearings Manufacturers Association*) ha establecido dimensiones límites para los cojinetes. El plan básico considera todos los cojinetes de bolas y los de rodillos cilíndricos en tamaños métricos.

Los cojinetes son identificados por un número de dos dígitos llamado código de serie de dimensión. El primer número del código es la serie de anchos 0, 1, 2, 3, 4, 5, y 6; y el segundo número es la serie de diámetros (exteriores) 8, 9, 0, 1, 2, 3, y 4. Este código de serie realmente no revela las dimensiones directamente, por lo que es necesario referirse a tablas.

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 7. Carga radial equivalente, $F_e$



A continuación se presenta la tabla para la serie 02 para cojinetes de ranura profunda, de una fila y de contacto angular; y la tabla de la serie 02 y 03 para cojinetes de rodillo cilíndrico.

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

Bore, mm	OD, mm	Width, mm	Fillet Radius, mm	Shoulder Diameter, mm		Load Ratings, kN			
				$d_s$	$d_H$	Deep Groove		Angular Contact	
						$C_{10}$	$C_0$	$C_{10}$	$C_0$
10	30	9	0.6	12.5	27	5.07	2.24	4.94	2.12
12	32	10	0.6	14.5	28	6.89	3.10	7.02	3.05
15	35	11	0.6	17.5	31	7.80	3.55	8.06	3.65
17	40	12	0.6	19.5	34	9.56	4.50	9.95	4.75
20	47	14	1.0	25	41	12.7	6.20	13.3	6.55
25	52	15	1.0	30	47	14.0	6.95	14.8	7.65
30	62	16	1.0	35	55	19.5	10.0	20.3	11.0
35	72	17	1.0	41	65	25.5	13.7	27.0	15.0
40	80	18	1.0	46	72	30.7	16.6	31.9	18.6
45	85	19	1.0	52	77	33.2	18.6	35.8	21.2
50	90	20	1.0	56	82	35.1	19.6	37.7	22.8
55	100	21	1.5	63	90	43.6	25.0	46.2	28.5
60	110	22	1.5	70	99	47.5	28.0	55.9	35.5
65	120	23	1.5	74	109	55.9	34.0	63.7	41.5
70	125	24	1.5	79	114	61.8	37.5	68.9	45.5
75	130	25	1.5	86	119	66.3	40.5	71.5	49.0
80	140	26	2.0	93	127	70.2	45.0	80.6	55.0
85	150	28	2.0	99	136	83.2	53.0	90.4	63.0
90	160	30	2.0	104	146	95.6	62.0	106	73.5
95	170	32	2.0	110	156	108	69.5	121	85.0

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 7. Carga radial equivalente, $F_e$

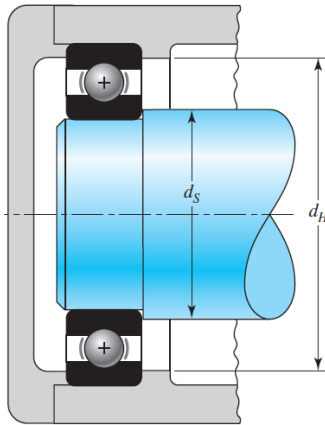
Dimensions and Basic Load Ratings for Cylindrical Roller Bearings

Bore, mm	OD, mm	02-Series			03-Series			
		Width, mm	Load Rating, kN		OD, mm	Width, mm	Load Rating, kN	
			$C_{10}$	$C_0$			$C_{10}$	$C_0$
25	52	15	16.8	8.8	62	17	28.6	15.0
30	62	16	22.4	12.0	72	19	36.9	20.0
35	72	17	31.9	17.6	80	21	44.6	27.1
40	80	18	41.8	24.0	90	23	56.1	32.5
45	85	19	44.0	25.5	100	25	72.1	45.4
50	90	20	45.7	27.5	110	27	88.0	52.0
55	100	21	56.1	34.0	120	29	102	67.2
60	110	22	64.4	43.1	130	31	123	76.5
65	120	23	76.5	51.2	140	33	138	85.0
70	125	24	79.2	51.2	150	35	151	102
75	130	25	93.1	63.2	160	37	183	125
80	140	26	106	69.4	170	39	190	125
85	150	28	119	78.3	180	41	212	149
90	160	30	142	100	190	43	242	160
95	170	32	165	112	200	45	264	189
100	180	34	183	125	215	47	303	220
110	200	38	229	167	240	50	391	304
120	215	40	260	183	260	55	457	340
130	230	40	270	193	280	58	539	408
140	250	42	319	240	300	62	682	454
150	270	45	446	260	320	65	781	502

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 7. Carga radial equivalente, $F_e$

En una de las tablas anteriores se hace referencia al diámetro del hombro de alojamiento ( $d_h$ ) y al diámetro del hombro del árbol o eje ( $d_s$ ).



## 8. Carga variable

Con frecuencia, las cargas en los cojinetes son variables y ocurren en ciertos patrones identificables:

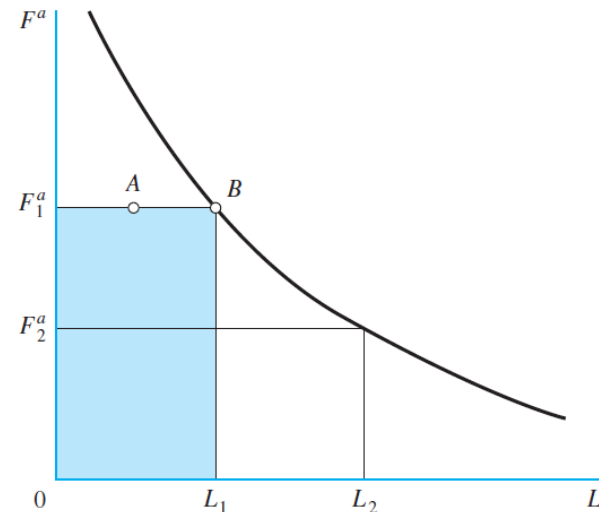
- Carga constante en etapas, con un patrón cíclico.
- Carga continua variable, con un patrón cíclico que se repite (existe un periodo).
- Cargas de variación aleatoria.

## Carga constante en etapas

Recordando que  $FL^{1/a} = K = \text{const}$ , donde  $F$  puede ser una carga radial o una carga equivalente estática. Esta ecuación podría re escribirse como:

$$F^a L = K^a = K'$$

Sí consideramos el gráfico de  $F^a$  vs  $L$ . Si aquí se considera una carga  $F_1$  y se corre hasta el criterio de falla en la vida básica  $L_1$  entonces el área bajo el trazo  $F_1^a - L_1 = C_{10}^a - L_B$  será igual a  $K'$ . Lo mismo sería válido para una carga  $F_2$ .



# III. Cojinetes de contacto rodante

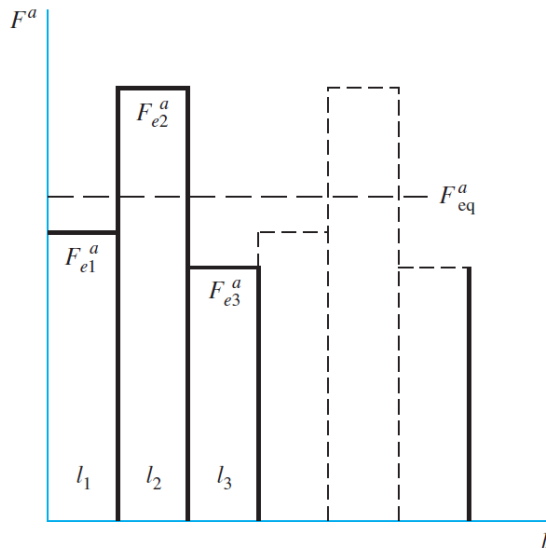
## 8. Carga variable

### Carga constante en etapas

De lo anterior podría considerarse entonces, la hipótesis de daño lineal en donde al aplicar la carga  $F_1$  de  $L = 0$  hasta  $L = L_A$  se ocasionaría un daño medido por

$$F_1^a L_A = D$$

Consecuentemente para las cargas mostradas en la siguiente figura



$$F_{e1}^a l_1 + F_{e2}^a l_2 + F_{e3}^a l_3 = D$$

Donde  $l_i$  es el número de revoluciones de la vida  $L_i$ . La carga equivalente estable,  $F_{eq}$  para esta configuración sería aquella que se corre para las revoluciones  $l_1 + l_2 + l_3$  causando el mismo daño  $D$ .

$$F_{eq}^a (l_1 + l_2 + l_3) = D$$

Por lo tanto

$$F_{e1}^a l_1 + F_{e2}^a l_2 + F_{e3}^a l_3 = F_{eq}^a (l_1 + l_2 + l_3)$$

$$F_{eq} = \left[ \frac{F_{e1}^a l_1 + F_{e2}^a l_2 + F_{e3}^a l_3}{(l_1 + l_2 + l_3)} \right]^{1/a} = \left[ \sum f_i F_{ei}^a \right]^{1/a}$$

Donde:

$$f_i = \frac{l_i}{\sum l_i}$$

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 8. Carga variable

### Carga constante en etapas

En vista de que pueden darse el número de horas de vida  $t_i$  bajo las cargas  $F_{ei}^a$ , en vez de  $l_i$  ha de tenerse presente que:

$$l_i = 60t_i n_i$$

Donde  $n_i$  está en revoluciones/minutos y corresponde al número de horas  $t_i$ .

Considerando adicionalmente el factor de aplicación para las cargas  $a_{fi}$ , se tendrá:

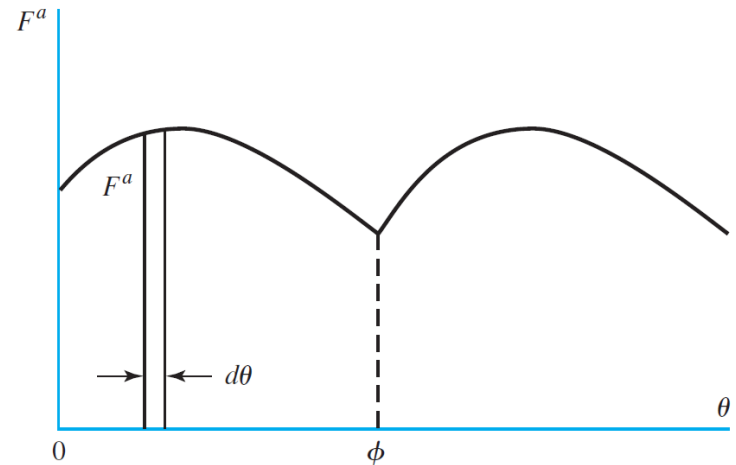
$$F_{eq} = \left[ \sum f_i (a_{fi} F_{ei})^a \right]^{1/a}$$

Y la vida equivalente básica estaría dada por:

$$L_{10,eq} = \frac{K'}{F_{eq}^a}$$

Carga continua variable, con un patrón cíclico que se repite

El otro tipo de carga a considerar es una carga continua, con variación periódica.



Sí se toma un elemento diferencial  $d\theta$ , entonces el daño diferencial causado  $dD$  estaría dado por

$$dD = F^a d\theta$$

Entonces la carga equivalente constante en estado estable:

$$D = \int_0^{\phi} F^a d\theta = F_{eq}^a \phi$$



# III. Cojinetes de contacto rodante

## 8. Carga variable

Carga continua variable, con un patrón cíclico que se repite

$$F_{eq} = \left[ \frac{1}{\phi} \int_0^{\phi} F^a d\theta \right]^{1/a}$$

Y la vida equivalente básica estaría dada por:

$$L_{10,eq} = \frac{K'}{F_{eq}^a}$$

## 9. Selección de cojinetes de bolas y de rodillos cilíndricos para cargas no cíclicas

Cojinetes sujetos únicamente a cargas radiales

Sí los cojinetes están sujetos únicamente a cargas radiales simplemente se busca la carga dinámica básica

$$C_{10} \cong a_f F_D \left[ \frac{x_D}{x_0 + (\theta - x_0)(1 - R_D)^{1/b}} \right]^{1/a}$$

Y se selecciona algún cojinete con un  $C_{10}$  que sea igual o mayor al  $C_{10}$  calculado.

Cojinetes de bolas sujetos tanto a cargas radiales como a cargas de empuje

Este caso es iterativo:

1. Se supone que  $\frac{F_a}{VF_r} > e$  y se selecciona algún valor para  $X_2$  y  $Y_2$ .
2. Se calcula  $F_e$  y con ella  $C_{10}$ .
3. De las tablas presentadas o de las tablas de algún fabricante, se selecciona el cojinete con el valor de  $C_{10}$  más próximo al calculado. Dicho valor seleccionado debe ser el mayor más próximo. Para el cojinete seleccionado se apunta el valor de  $C_0$ .
4. Se calcula  $F_a/C_0$ , se encuentra  $e$  y se corrobora que  $\frac{F_a}{VF_r} > e$ . De ser el caso para ese valor de  $\frac{F_a}{VF_r}$  se estima  $Y_2$  (puede interpolar).

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 9. Selección de cojinetes de bolas y de rodillos cilíndricos para cargas no cíclicas

Cojinetes de bolas sujetos tanto a cargas radiales como a cargas de empuje

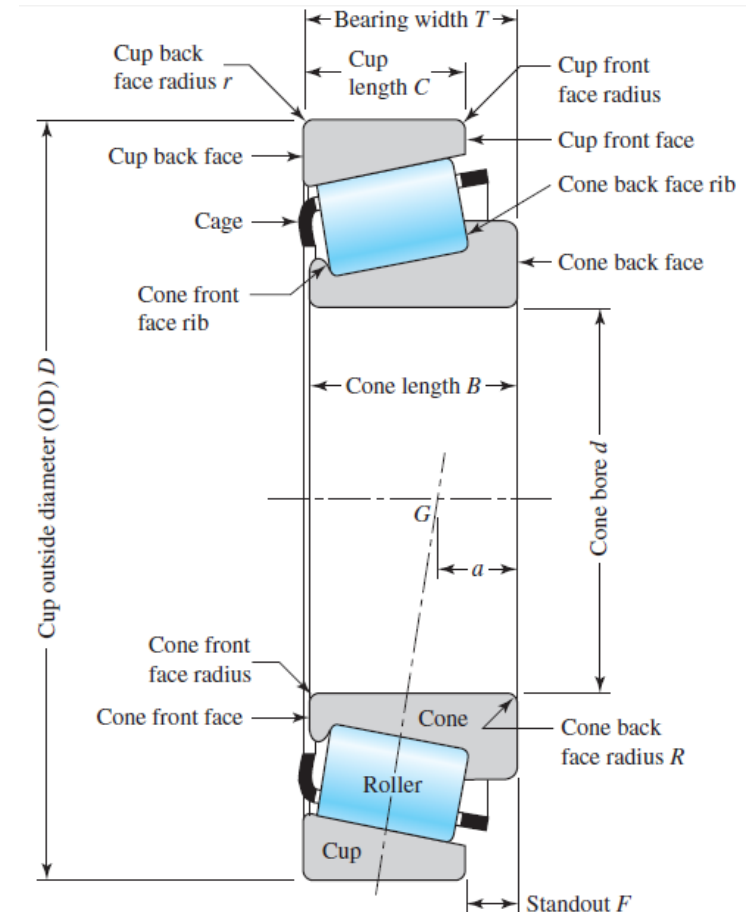
5. Con este valor de  $Y_2$  se calcula  $F_e$  y consecuentemente  $C_{10}$ .

6. Sí se obtiene un valor de  $C_{10}$  igual o inferior al del cojinete seleccionado, se detiene la iteración. De lo contrario se selecciona el cojinete con el siguiente valor de  $C_{10}$ , se anota  $C_0$  y se repiten los pasos a partir del 4.

## 10. Selección de cojinetes de rodillos no cilíndricos para cargas no cíclicas

Los cuatro componentes principales de un cojinete de rodillos son los siguientes:

- El cono (anillo interior).
- La copa (anillo exterior).
- Los rodamientos en forma de rodillos.
- La jaula (separadores).



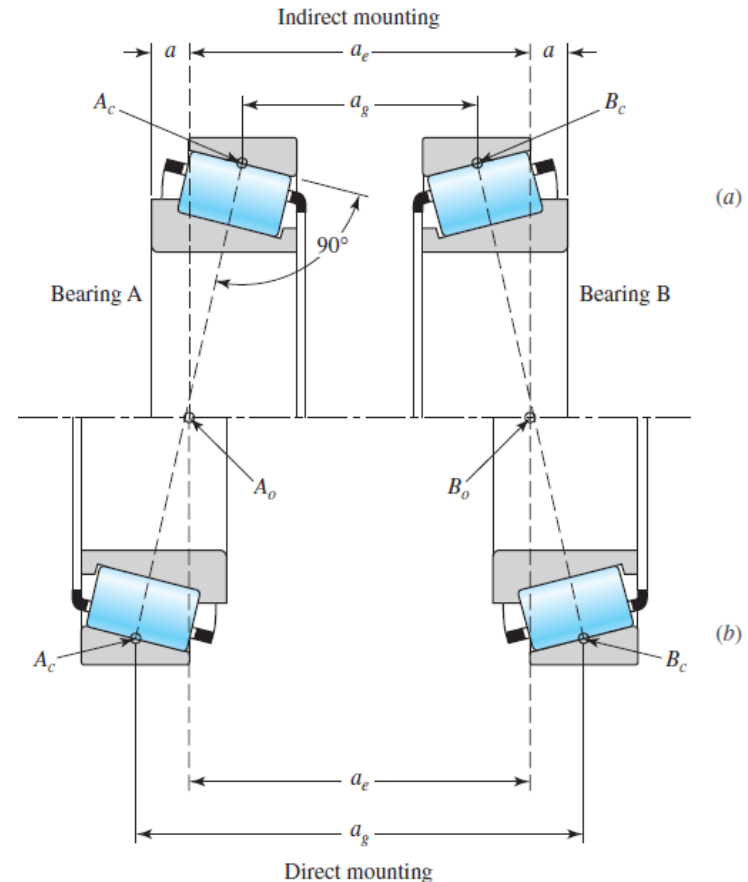
# III. Cojinetes de contacto rodante

## 10. Selección de cojinetes de rodillos no cilíndricos para cargas no cíclicas

Ahora bien, un cojinete de rodillo, dependiendo de cuál se trate, podría soportar tanto cargas radiales como axiales o cualquiera combinación de estas. Sin embargo, incluso cuando no existen cargas axiales externas, la carga radial inducirá una reacción en dirección axial producto de la geometría del rodamiento.

Para evitar la separación de las pistas y de los rodamientos producto de esta reacción, dicho empuje debe ser resistido. Una manera de generar esta fuerza es siempre utilizando al menos dos cojinetes de rodillos en un eje, de manera tal que la reacción de uno se oponga a la del otro.

Los cojinetes pueden ser montados tanto de forma directa (contracaras de los conos enfrentadas) o de forma indirecta (caras de los conos puestas frente a frente).



# III. Cojinetes de contacto rodante

## 10. Selección de cojinetes de rodillos no cilíndricos para cargas no cíclicas

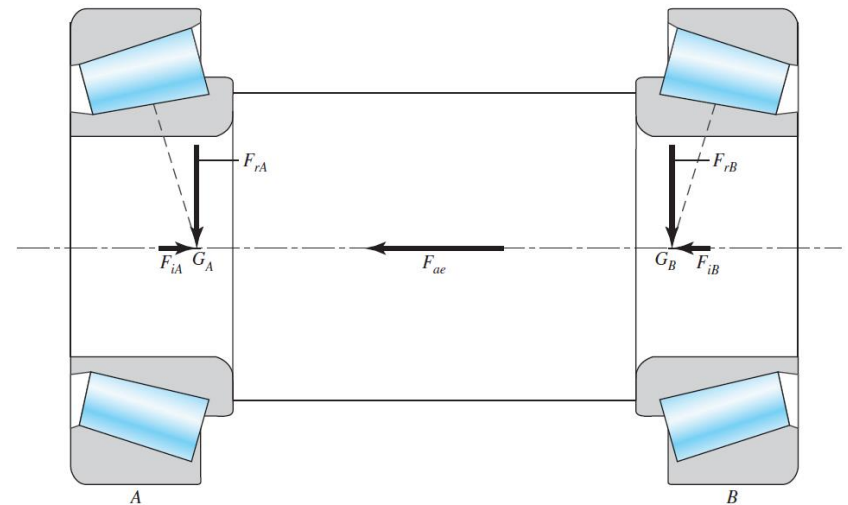
A través de los puntos  $A_0$  y  $B_0$  actúa la carga radial, perpendicular a la dirección axial del eje apoyado sobre los cojinetes y la carga axial, paralela a la dirección axial del eje.

De acuerdo al fabricante estadounidense de cojinetes Timken, la reacción axial,  $F_i$ , producto de carga radial sobre cojinetes de rodillos puede ser aproximada como

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

Donde  $F_r$  es la carga radial y  $K$  es un factor que puede ser aproximadamente igual a 1.5 para cojinetes de carga radial y a 0.75 para cojinetes de gran contacto angular. En todo caso, el valor exacto de  $K$  a emplear puede ser encontrado en el catálogo de selección.

En la siguiente imagen puede apreciarse las reacciones en los cojinetes  $A$  y  $B$  producto de las cargas radiales  $F_{rA}$  y  $F_{rB}$ , y adicionalmente puede verse un empuje o carga axial externa,  $F_{ae}$ , en dirección al cojinete  $A$ .



# III. Cojinetes de contacto rodante

## 10. Selección de cojinetes de rodillos no cilíndricos para cargas no cíclicas

De forma análoga a los rodamientos de bolas y cilíndricos, se determina una carga equivalente radial:

$$F_e = XV F_r + Y F_a$$

Timken recomienda utilizar siempre  $X = 0.4$ ,  $V = 1$ , y los valores de  $K$  especificados en el catalogo para  $Y$ .

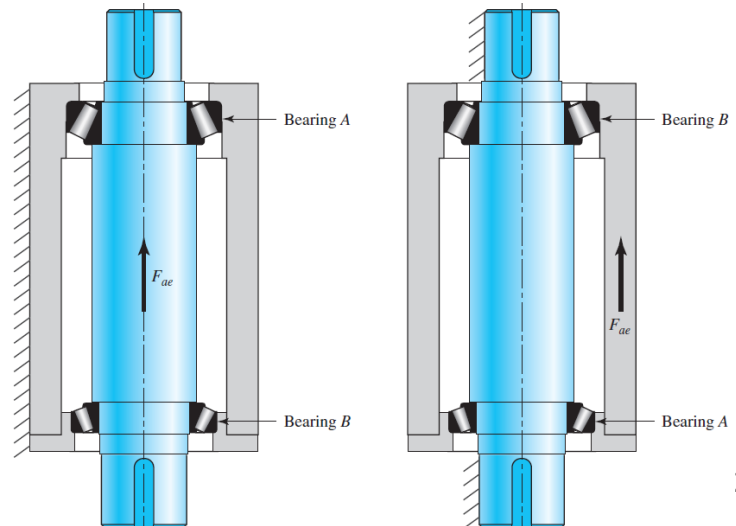
$$F_e = 0.4 F_r + K F_a$$

Aquí  $F_a$  es la carga axial neta que soporta el cojinete, es decir es la combinación tanto de la reacción o carga axial inducida y de la carga axial externa.

Ha de decirse que durante la selección, se supondrá que solo uno de los cojinetes del par estará soportando la carga axial neta. Esto último depende de diferentes factores: dirección en que los cojinetes están montados, de las magnitudes relativas de las cargas inducidas, de la dirección de las cargas externas, entre otros factores.

Un método propuesto por su libro de texto para determinar cuál cojinete está sujeto a la carga axial neta es descrito a continuación.

Primero se ha de determinar visualmente que cojinete tiene sus rodamientos siendo “apretados” por la carga de empuje externa y a dicho cojinete se le denota como el cojinete *A*. Al cojinete restante se le conoce como el cojinete *B*.



# III. Cojinetes de contacto rodante

## 10. Selección de cojinetes de rodillos no cilíndricos para cargas no cíclicas

En caso tal de que no exista empuje externo, los cojinetes se pueden denominar de forma arbitraria.

En segundo lugar, se debe determinar que cojinete es el que soporta la carga axial neta. Generalmente se espera que sea el  $A$  ya que soporta tanto la reacción del cojinete  $B$  como el empuje externo.

Ha de comentarse que Timken recomienda que la carga equivalente del cojinete que no soporta la carga axial neta, sea considerada directamente como la carga radial.

En todo caso se tienen las siguientes condiciones:

$$\begin{array}{l} \text{Sí } F_{iA} \leq (F_{iB} + F_{ae}) \\ \text{Sí } F_{iA} > (F_{iB} + F_{ae}) \end{array} \left\{ \begin{array}{l} F_{eA} = 0.4F_{rA} + K_A(F_{iB} + F_{ae}) \\ F_{eB} = F_{rB} \\ F_{eA} = F_{rA} \\ F_{eB} = 0.4F_{rB} + K_B(F_{iA} - F_{ae}) \end{array} \right.$$

Y en ningún caso la carga radial equivalente debe ser inferior a la carga radial original. De darse dicha situación debe usarse directamente la carga radial original.

Una vez se cuenta con la carga radial equivalente se calcula  $C_{10}$ :

$$C_{10} \cong a_f F_D \left[ \frac{x_D}{x_0 + (\theta - x_0)(1 - R_D)^{1/b}} \right]^{1/a}$$

Para este tipo de cojinetes Timken recomienda usar los siguientes valores:  $x_0 = 0, \theta = 4.48, b = \frac{3}{2}$ .

Recuerde que el  $C_{10}$  calculado debe ser menor o igual al presentado en el catálogo del fabricante.

Un ejemplo de las tablas que muestran los fabricantes para este tipo de cojinetes puede apreciarla en la figura 11-15 de su libro de texto. 30

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 11. Lubricación (breve introducción)

Las superficies en contacto en los cojinetes tienen un movimiento relativo que involucra tanto rodamiento como deslizamiento, por lo que es difícil de comprender. En el siguiente capítulo abordaremos con más detalle la lubricación, pero en términos general la lubricación es empleada para:

- Proporcionar una película de lubricante entre las superficies deslizantes y rodantes.
- Para ayudar a distribuir y disipar calor.
- Para prevenir la corrosión de las superficies de los cojinetes.
- Para proteger a las partes de la entrada de material extraño.

El lubricante puede ser aceite o bien grasa. La tabla siguiente muestra algunas recomendaciones útiles para decidir cuál utilizar en una aplicación determinada.

### Use Grease When

1. The temperature is not over 200°F.
2. The speed is low.
3. Unusual protection is required from the entrance of foreign matter.
4. Simple bearing enclosures are desired.
5. Operation for long periods without attention is desired.

### Use Oil When

1. Speeds are high.
2. Temperatures are high.
3. Oiltight seals are readily employed.
4. Bearing type is not suitable for grease lubrication.
5. The bearing is lubricated from a central supply which is also used for other machine parts.

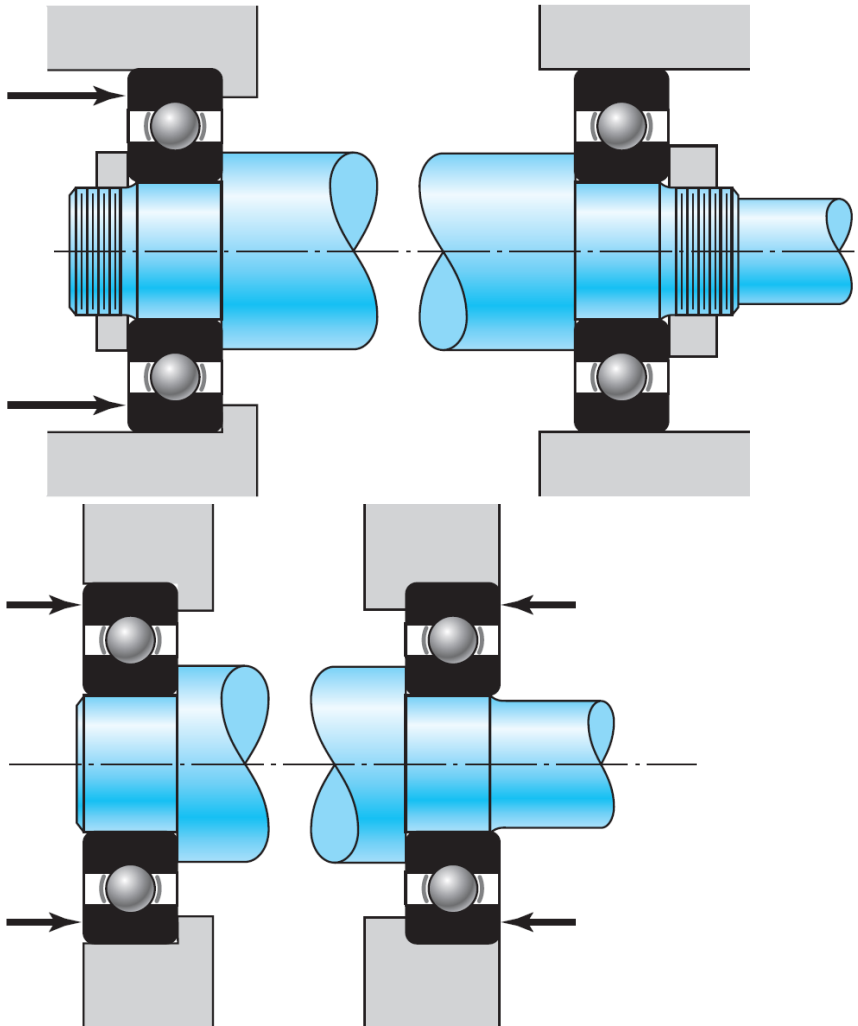
## 12. Montaje y alojamiento

Hoy día existen un sin número de montajes empleados para los cojinetes, y cada fabricante recomienda ciertos montajes para tipos de cojinetes específicos.

Ha de decirse que el desalineamiento permisible en un cojinete depende del tipo del cojinete. En general, es una buena práctica considerar un factor de seguridad de 2 para tener en cuenta posibles incrementos de la carga producto del desalineamiento.

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 12. Montaje y alojamiento



También es importante tener presente, que gran parte de los cojinetes presentan sellos para evitar la introducción de suciedad y para retener el lubricante.

## 13. Comentarios referentes a las fallas de cojinetes

Las fallas en los cojinetes atienden a alguna de las siguientes causas:

- Mala elección del rodamiento.
- Mala calidad del rodamiento.
- Causas externas: Mal montaje, lubricación insuficiente, condiciones de entorno desfavorables, etc.



# III. Cojinetes de contacto rodante

## 13. Comentarios referentes a las fallas de cojinetes

Algunas fallas comunes incluyen:

### a) Desgaste.

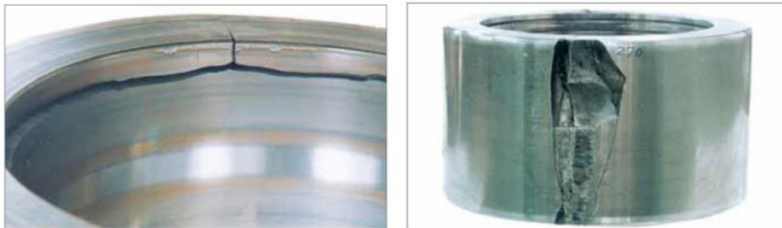


**Componente:** Anillo interno de un rodamiento de rodillos esféricos.

**Sintoma:** A lo largo del centro de la pista ocurre el desgaste.

**Causa:** Lubricación deficiente.

### b) Grietas y rajaduras.



**Componente:** Anillo externo del rodamiento de doble hilera de rodillos cilíndricos.

**Sintoma:** Rajaduras que se propagan axialmente y circunferencialmente originadas en la descamación de la superficie de la pista.

**Causa:** Descamación originada por una carga de choque.

**Componente:** Anillo externo del rodamiento de doble hilera de rodillos cilíndricos, aplicado en equipo donde la rotación está en el anillo externo.

**Sintoma:** Rajaduras en la superficie externa.

**Causa:** Desgaste plano y generación de calor por deslizamiento causado por la rotación del anillo externo.

### c) Corrosión por contacto.



**Componente:** Anillo interno de rodamiento rígido de bolas.

**Sintoma:** Corrosión por contacto en la superficie del agujero.

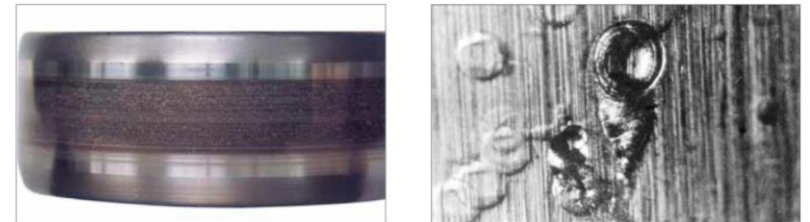
**Causa:** Vibración y mal ajuste.

**Componente:** Anillo interno de rodamiento de contacto angular.

**Sintoma:** Corrosión por contacto ocurre en toda la superficie del agujero.

**Causa:** Ajuste inadecuado.

### d) Corrosión producto de corrientes eléctricas parasitas.



**Componente:** Anillo interno del rodamiento de rodillos cilíndricos.

**Sintoma:** Modelo de falla de corrosión eléctrica acompañada de cráteres (pitting) en la superficie de la pista.

**Componente:** Anillo interno de rodamiento rígido de una hilera de bolas.

**Sintoma:** Derretimiento de material por pasaje de corriente eléctrica. Cráteres pequeños

# III. Cojinetes de contacto rodante

## 13. Comentarios referentes a las fallas de cojinetes

Algunas fallas comunes incluyen:

e) Deformación, fractura, y deterioro de las jaulas.

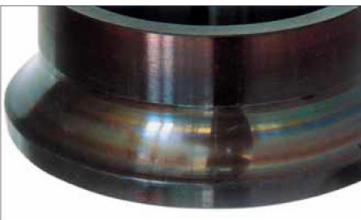


**Componente:** Jaula de rodamiento de contacto angular.  
**Sintoma:** Deformación de jaula de acero prensado.  
**Causa:** Choques durante el manejo.



**Componente:** Jaula de rodamiento de rodillos cilíndricos.  
**Sintoma:** Deformación y deterioro de la jaula de latón maquinado.

f) Sobre calentamiento.



**Componente:** Anillo externo de rodamiento de contacto angular.  
**Sintoma:** Alteración de color de la superficie de la pista.  
**Causa:** Generación de calor debido a lubricación deficiente.