

NOTA IMPORTANTE:

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para si misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

ININ/ Oficina Nacional de Normalización

NORMA CUBANA

NC

ISO 76: 2007
(Publicada por la ISO en 2006)

**COJINETES DE RODAMIENTO — CAPACIDAD DE CARGA
ESTÁTICA
(ISO 76: 2006, IDT)**

Rolling bearings – Static load ratings

ICS: 21.100.20

1. Edición Febrero 2007
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana. Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico: nc@ncnorma.cu; Sitio Web: www.nc.cubaindustria.cu



Cuban National Bureau of Standards

NC-ISO 76: 2007

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba y representa al país ante las organizaciones internacionales y regionales de normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos normativos relacionados se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el NC/CTN 108 Elementos de Máquina integrado por las siguientes entidades:
 - Facultad de Ingeniería Mecánica. CUJAE. Ministerio de Educación Superior.
 - CEMPES. Universidad de la Habana. Ministerio de Educación Superior.
 - Instituto de Investigación de Maquinaria Agrícola. Ministerio de la Agricultura.
 - Empresa de Centrales de Mantenimiento a Centrales Eléctricas. Ministerio de la Industria Básica.
 - QUIMEFA-EMIF. Ministerio de la Industria Básica.
 - Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología. Consejo de Estado.
 - Instituto Cibernética Matemática y Física. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
 - Ministerio de las Comunicaciones.
- Es una adopción idéntica de la ISO 76: 2006 Rolling bearing – Static load ratings

© NC, 2007

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:

Oficina Nacional de Normalización (NC)

Calle E No. 261, Vedado, Ciudad de La Habana, Habana 4, Cuba.

Impreso en Cuba.

Índice

0	Introducción.....	4
1	Objeto.....	5
2	Referencias normativas.....	5
3	Términos y definiciones.....	5
4	Símbolos.....	7
5	Cojinetes radiales de bolas.....	8
5.1	Capacidad nominal de carga estática radial en un cojinete.....	8
5.2	Carga estática radial equivalente.....	11
6	Cojinetes axiales de bolas.....	12
6.1	Capacidad nominal de carga estática axial.....	12
6.2	Carga estática axial equivalente.....	12
7	Cojinetes radiales de rodillos.....	13
7.1	Capacidad nominal de la carga estática radial.....	13
7.2	Carga estática radial equivalente.....	13
8	Cojinetes axiales de rodillos.....	15
8.1	Capacidad nominal de carga estática axial.....	15
8.2	Carga estática axial equivalente.....	15
9	Factor de seguridad estático.....	16
9.1	General.....	16
9.2	Cojinetes de bolas.....	16
9.3	Cojinetes de rodillos.....	17
	Anexo A (informativo) . Discontinuidades en el cálculo de la capacidad nominal de carga estática.....	18

0 Introducción

Las deformaciones permanentes aparecen en los elementos rodantes y caminos de rodadura de los cojinetes de rodamiento bajo las cargas estáticas de magnitud moderada y aumentan gradualmente con el crecimiento de la carga.

Es a menudo impráctico establecer si las deformaciones que aparecen en el cojinete en una aplicación específica son permisibles probando el cojinete en esa aplicación. Por consiguiente, otros métodos son requeridos para establecer la conveniencia del cojinete seleccionado.

Las experiencias muestran que una deformación permanente total de 0,0001 del diámetro del elemento rodante, en el centro del contacto elemento/camino de rodadura más fuertemente cargado, puede ser tolerado en muchas aplicaciones de los cojinetes sin que el funcionamiento subsecuente sea dañado. La capacidad nominal de carga estática, por consiguiente, da una magnitud tal que aproximadamente esta deformación ocurre cuando la carga estática equivalente es igual a la capacidad de carga de rodamiento.

Los ensayos en diferentes países indican que una carga de la magnitud en cuestión puede ser considerada que corresponde a una presión de contacto calculada de:

- 4600 MPa¹⁾ para cojinetes de bolas autoalineantes,
- 4200 MPa para todos los otros cojinetes de bolas radiales,
- 4000 MPa para todos los cojinetes de rodillos

En el centro del contacto elemento/camino de rodadura más fuertemente cargado, las fórmulas y factores para el cálculo de las capacidades nominales de carga estática son basadas en estas presiones.

La capacidad de carga estática equivalente permisible puede ser más pequeña, igual o mayor que la capacidad nominal de carga estática, dependiendo de los requisitos para la suavidad de operación y fricción, así como de la geometría de la superficie de contacto real. Los usuarios de los cojinetes sin la experiencia previa de estas condiciones deben consultar a los fabricantes de cojinetes.

1) 1bar = 0,1 MPa = 10⁵ Pa ; 1M Pa = 1N/ mm²

COJINETES DE RODAMIENTO—CAPACIDAD DE CARGA ESTÁTICA

1 Objeto

Esta Norma Cubana especifica métodos para calcular la capacidad nominal de carga estática y la capacidad de carga estática equivalente para los cojinetes de rodamiento dentro de los rangos del tamaño mostrados en las Normas Internacionales pertinentes, manufacturados con acero endurecido de buena calidad, de acuerdo con la práctica industrial correcta y un diseño básicamente convencional con relación a la forma de rodamiento de las superficies en contacto.

Los cálculos de acuerdo con esta Norma Cubana no brindan resultados satisfactorios para los cojinetes cuando, debido a las condiciones de aplicación y/o debido al diseño interior, hay un truncamiento considerable del área de contacto entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura de los aros. La misma limitación es aplicable donde las condiciones de aplicación causan desviaciones en la distribución normal de carga en el cojinete, por ejemplo una desalineación, precarga, gran holgura excesiva o cuando se emplean tratamientos superficiales o recubrimientos especiales. Donde hay razón para asumir que tales condiciones prevalezcan, el usuario debe consultar al fabricante de cojinetes para las recomendaciones y evaluación de la carga estática equivalente.

Esta Norma Cubana no es aplicable cuando los elementos rodantes operan directamente en la superficie del árbol o casquillo, a menos que la superficie sea equivalente totalmente a la superficie del cojinete que reemplaza.

Los cojinetes radiales de doble hilera y axiales de doble efecto son, en lo referido en esta Norma, considerados simétricos.

Adicionalmente, son dadas orientaciones para factores de seguridad en caso de cargas estáticas para ser empleados en aplicaciones de grandes cargas.

2 Referencias normativas

Los documentos que se mencionan seguidamente son indispensables para la aplicación de esta Norma Cubana. Para las referencias fechadas, sólo se toma en consideración la edición citada. Para las no fechadas, se toma en cuenta la última edición del documento de referencia (incluyendo todas las enmiendas).

ISO 5593, Rolling bearings — Vocabulary

ISO 15241, Rolling bearings — Symbols for quantities

ISO/TR 10657:1991, Explanatory notes on ISO 76

3 Términos y Definiciones

A los fines de este documento se aplican los términos y las definiciones siguientes, así como el resto de los establecidos en ISO 5593.

3.1 Carga estática

La carga que actúa en un cojinete de rodamiento cuando la velocidad de rotación de sus aros en relación uno con el otro es nula.

3.2 Capacidad nominal de carga estática radial

Carga estática radial que corresponde a una presión calculada en el centro del contacto elemento/camino de rodadura más fuertemente cargado de:

- 4600 MPa para los cojinetes de bolas autoalineantes;
- 4200 MPa para todos los otros tipos de cojinetes de bolas radiales;
- 4000 MPa para todos los cojinetes de rodillo.

NOTA 1 En el caso de cojinetes de contacto angular de una sola hilera, la capacidad de carga radial se refiere a la componente radial de esa carga que causa un desplazamiento puramente radial de los aros del cojinete en relación uno con el otro.

NOTA 2 Para estas presiones, ocurre una deformación permanente total del elemento rodante y el camino de rodadura de aproximadamente 0.0001 del diámetro del elemento rodante.

3.3 Capacidad nominal de carga estática axial

Carga estática axial concentrada que corresponde a una presión calculada en el centro del contacto elemento/camino de rodadura más fuertemente cargado de:

- 4200 MPa para los cojinetes axiales de bolas;
- 4000 MPa para todos los cojinetes axiales de rodillo.

NOTA Para estas presiones, ocurre una deformación permanente total del elemento rodante y el camino de rodadura de aproximadamente 0.0001 del diámetro del elemento rodante.

3.4 Carga estática radial equivalente

Carga radial estática que causaría la misma presión en el centro del contacto elemento/camino de rodadura más fuertemente cargado que la que ocurre bajo las condiciones de cargas reales.

3.5 Carga estática axial equivalente

Carga axial estática que causaría la misma presión en el centro del contacto elemento/camino de rodadura más fuertemente cargado que la que ocurre bajo las condiciones de cargas reales.

3.6 Factor de seguridad a carga estática

Razón entre la capacidad de nominal de carga estática y la carga estática equivalente, dando un margen de seguridad ante una inadmisibles deformación permanente en los elementos rodantes o el camino de rodadura.

3.7 Diámetro del rodillo

(Aplicable en el cálculo de capacidades de carga). Diámetro teórico en un plano radial tomado a la mitad de la longitud del rodillo para rodillos simétricos.

NOTA 1 Para un rodillo cónico, esto es igual a los valores medios de los diámetros de los biseles teóricos del extremo mayor y el extremo menor del rodillo.

NOTA 2 Para un rodillo convexo asimétrico, se considera el diámetro aproximado en el punto de contacto sin carga entre el rodillo y el camino de rodadura sin reborde.

3.8 Longitud del rodillo

(Aplicable en el cálculo de capacidades de carga). Longitud máxima teórica de contacto entre un rodillo y el camino de rodadura donde el contacto es más corto.

NOTA Normalmente se toma o la longitud menor entre los biseles teóricos del rodillo sustrayendo los chaflanes o el ancho del camino de rodadura excluyendo las holguras del rectificado.

3.9 Ángulo de contacto nominal

Ángulo entre un plano perpendicular al eje del cojinete (plano radial) y la línea nominal de la resultante de las fuerzas transmitidas por un aro del cojinete o arandela a un elemento rodante.

NOTA Para rodamientos con rodillos asimétricos, el ángulo de contacto nominal es determinado por el contacto con el camino de rodadura sin pestaña.

3.10 Diámetro primitivo de un collar de bolas

En un cojinete, es el diámetro del círculo que contiene los centros de las bolas en una hilera.

3.11 Diámetro primitivo de un collar de rodillos

En un cojinete, es el diámetro del círculo que intercepta los ejes de los rodillos en la mitad de su longitud en una hilera.

4 Símbolos

En este documento se aplican los símbolos siguientes, así como los declarados en ISO 15241.

C_{0a} = capacidad nominal de carga estática axial, en newtons

C_{0r} = capacidad nominal de carga estática radial, en newtons

D_{pw} = diámetro primitivo de un collar de bolas o rodillos, en milímetros

D_w = diámetro de bola, en milímetros

D_{we} = diámetro del rodillo aplicable en el cálculo de capacidades de carga, en milímetros

F_a = carga axial en el cojinete (componente axial de la carga real en el cojinete), en newton

F_r = carga radial en el cojinete (componente radial de la carga real en el cojinete), en newton

- f_o = factor que depende de la geometría de los componentes del cojinete y del nivel de la presión aplicada
- i = número de hileras de elementos rodantes en un cojinete
- L_{we} = longitud del rodillo aplicable en el cálculo de capacidades de carga, en milímetros
- P_{0a} = carga estática axial equivalente, en newton
- P_{0r} = carga estática radial equivalente, en newton
- S_o = factor de seguridad a carga estática
- X_o = factor de carga radial
- Y_o = factor de carga axial
- Z = número de elementos rodantes en una sola hilera del cojinete; número de elementos rodantes por hilera de un cojinete de múltiples hileras que posee el mismo número de elementos rodantes en cada hilera
- α = ángulo de contacto nominal de un cojinete, en grados

5 Cojinetes radiales de bolas

5.1 Capacidad nominal de carga estática radial

5.1.1 Capacidad nominal de carga estática radial en un cojinete

La capacidad nominal de carga estática radial para los cojinetes radiales de bolas se calcula mediante la fórmula

$$C_{0r} = f_o \cdot i \cdot Z \cdot D_w^2 \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

donde los valores de f_o se dan en la Tabla 1.

Esta fórmula es aplicable a los cojinetes de bolas radiales de contacto angular, con un radio de curvatura de la sección transversal de los aros interiores no mayor que $0.52 D_w$ y no mayor que $0.53 D_w$ para los aros exteriores en cojinetes de bolas radiales de contacto angular y cojinetes de bolas autoalineantes.

La capacidad de soportar carga de un cojinete no es necesariamente incrementada por el uso de un radio de curvatura más pequeño, pero se reduce por el uso de un radio de curvatura más grande que aquellos indicados en el párrafo anterior. Para el uso de un radio de curvatura mayor que el indicado, se empleará un valor reducido de f_o correspondiente. Un cálculo del este valor reducido de factor f_o puede ser efectuado con empleo de la ecuación (3-18) dada en ISO/TR 10657:1991.

5.1.2 Capacidad nominal de carga estática radial para combinaciones de cojinetes

5.1.2.1 Dos cojinetes de bolas de una sola hilera de contacto radial operando como una unidad.

La capacidad nominal de carga estática radial para dos cojinetes de bolas similares de una sola hilera de contacto radial montados lado a lado en el mismo árbol, de forma tal que trabajan como una unidad (montaje por pareja), es el doble de la capacidad nominal de carga estática radial de un cojinete de una sola hilera.

5.1.2.2 Cojinetes de bolas de una sola hilera de contacto angular con disposiciones de montaje "espalda a espalda" o "cara a cara".

La capacidad nominal de carga estática radial para dos cojinetes de bolas similares de una sola hilera de contacto angular montados lado a lado en el mismo árbol, de forma tal que trabajan como una unidad (montaje por pareja) con disposiciones de montaje "espalda a espalda" o "cara a cara", es el doble de la capacidad nominal de carga estática radial de un cojinete de una sola hilera.

5.1.2.3 Cojinetes con disposición de montaje en tándem

La capacidad nominal de carga estática radial para dos o más cojinetes de bolas similares de una sola hilera de contacto radial o dos o más cojinetes de bolas similares de una sola hilera de contacto angular montados lado a lado en el mismo árbol, de forma tal que trabajan como una unidad (montaje por pareja o conjunto) con disposición de montaje en tándem, es el número de cojinetes multiplicado por la capacidad nominal de carga estática radial de un cojinete de una sola hilera. Los cojinetes requieren estar adecuadamente fabricados y montados para lograr una distribución uniforme de la carga entre ellos.

Tabla 1 — Valores del factor f_0 para cojinetes de bolas

$\frac{D_w \cos \alpha}{D_{pw}}$	Factor f_0		
	Cojinetes radiales de bolas		Cojinetes axiales de bolas
	de contacto radial y angular	autoalineante	
0	14.7	1.9	61.6
0.01	14.9	2	60.8
0.02	15.1	2	59.9
0.03	15.3	2.1	59.1
0.04	15.5	2.1	58.3
0.05	15.7	2.1	57.5
0.06	15.9	2.2	56.7
0.07	16.1	2.2	55.9
0.08	16.3	2.3	55.1
0.09	16.5	2.3	54.3
0.1	16.4	2.4	53.5
0.11	16.1	2.4	52.7
0.12	15.9	2.4	51.9
0.13	15.6	2.5	51.2
0.14	15.4	2.5	50.4
0.15	15.2	2.6	49.6
0.16	14.9	2.6	48.8
0.17	14.7	2.7	48
0.18	14.4	2.7	47.3
0.19	14.2	2.8	46.5
0.2	14	2.8	45.7
0.21	13.7	2.8	45
0.22	13.5	2.9	44.2
0.23	13.2	2.9	43.5
0.24	13	3	42.7
0.25	12.8	3	41.9
0.26	12.5	3.1	41.2
0.27	12.3	3.1	40.5
0.28	12.1	3.2	39.7
0.29	11.8	3.2	39
0.3	11.6	3.3	38.2
0.31	11.4	3.3	37.5
0.32	11.2	3.4	36.8
0.33	10.9	3.4	36
0.34	10.7	3.5	35.3
0.35	10.5	3.5	34.6
0.36	10.3	3.6	
0.37	10	3.6	
0.38	9.8	3.7	
0.39	9.6	3.8	
0.4	9.4	3.8	

NOTA La tabla está basada en la fórmula de Hertz para un contacto puntual con un módulo de elasticidad de 2.07×10^5 MPa y un coeficiente de Poisson de 0.3. Se asume que la distribución de carga produce en una bola la máxima carga de:

$$\frac{5 \cdot F_r}{Z \cdot \cos \alpha} \text{ en el caso de cojinetes radiales de bolas}$$

$$\frac{F_a}{Z \cdot \cos \alpha} \text{ en el caso de cojinetes axiales de bolas.}$$

Valores de f_0 para valores intermedios de $\frac{D_w \cdot \cos \alpha}{D_{pw}}$ son obtenidos por interpolación

lineal.

5.2 Carga estática radial equivalente

5.2.1 Carga estática radial equivalente en un cojinete.

La carga estática radial equivalente para cojinetes radiales de bolas es el mayor de los dos valores obtenidos mediante las fórmulas

$$P_{0r} = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a \quad (2)$$

$$P_{0r} = F_r \quad (3)$$

donde los valores de los factores X_0 y Y_0 son dados en la tabla 2. Estos factores aplican para cojinetes con radios de curvatura en la sección transversal de los aros (caminos de rodadura) según 5.1.1. El cálculo de X_0 y Y_0 para cojinetes con otros radios de curvatura puede ser realizado según ISO/TR 10657:1991.

Valores de Y_0 para ángulos de contactos intermedios, no declarados en la Tabla 2, son obtenidos por interpolación lineal.

Tabla 2 — Valores de factores X_0 y Y_0 para cojinetes radiales de bolas

Tipo de cojinete	Cojinetes de una hilera		Cojinetes de dos hileras	
	X_0	Y_0	X_0	Y_0
Cojinetes de bolas de contacto radial ^{a)}	0.6	0.5	0.6	0.5
Cojinetes de bolas de contacto angular, $\alpha =$	5°	0.5	1	1,04
	10°	0.5	1	1
	15°	0.5	1	0.92
	20°	0.5	1	0.84
	25°	0.5	1	0.76
	30°	0.5	1	0.66
	35°	0.5	1	0.58
	40°	0,5	1	0.52
45°	0,5	1	0.44	
Cojinetes de bolas autoalineantes, $\alpha \neq 0^\circ$	0.5	$0.22 \cot \alpha$	1	$0.44 \cot \alpha$

^{a)} El valor máximo permisible de F_a/C_{0r} depende del diseño del cojinete (holgura interna y profundidad del camino de rodadura).

5.2.2 Carga estática radial equivalente para combinaciones de cojinetes

5.2.2.1 Cojinetes de bolas de una sola hilera de contacto angular con disposiciones de montaje "espalda a espalda" o "cara a cara"

Cuando se calcula la carga estática radial equivalente para dos cojinetes de bolas similares de contacto angular montados lado a lado en el mismo árbol, de forma tal que trabajan como una unidad (montaje por pareja) con disposiciones de montaje "espalda a espalda" o "cara a cara", se usarán los valores X_0 y Y_0 para un cojinete de doble hilera y los valores F_r y F_a para las cargas totales en el conjunto de los dos cojinetes.

5.2.2.2 Cojinetes con disposición de montaje en tándem

Cuando se calcula la carga estática radial equivalente para dos o más cojinetes de bolas similares de una sola hilera de contacto radial o dos o más cojinetes de bolas similares de una sola hilera de contacto angular montados lado a lado en el mismo árbol, de forma tal que trabajan como una unidad (montaje por pareja o conjunto) con disposición de montaje en tándem, se usarán los valores de X_0 y Y_0 para un cojinete de una sola hilera y los valores de F_r y F_a para las cargas totales en el conjunto de los dos o más cojinetes.

6 Cojinetes axiales de bolas

6.1 Capacidad nominal de carga estática axial

La capacidad nominal de carga estática axial para cojinetes axiales de bolas de simple o doble efecto se obtiene mediante la fórmula

$$C_{0a} = f_0 \cdot Z \cdot D_w^2 \cdot \text{sen} \alpha \quad (4)$$

donde los valores de f_0 se dan en la Tabla 1 y Z es el número de bolas que soportan carga en una dirección.

La fórmula se aplica a los cojinetes con un radio de curvatura en la sección transversal del camino de rodadura no mayor que $0.54 D_w$.

La capacidad de soportar carga de un cojinete no es necesariamente incrementada por el uso de un radio de curvatura más pequeño, pero se reduce por el uso de un radio de curvatura más grande. Para el uso de un radio de curvatura mayor que el indicado, se empleará un valor reducido del f_0 correspondiente. Un cálculo del este valor reducido de factor f_0 puede ser efectuado con empleo de la ecuación (3-30) dada en ISO/TR 10657:1991.

6.2 Carga estática axial equivalente

La carga estática axial equivalente para los cojinetes axiales de bolas con un $\alpha \neq 90^\circ$ se obtiene mediante la fórmula

$$P_{0a} = 2.3 \cdot F_r \cdot \tan \alpha + F_a \quad (5)$$

Esta fórmula es válida para todas las proporciones entre la carga radial y la carga axial en el caso de cojinetes de doble efecto. Para cojinetes de simple efecto, es válido cuando $F_r/F_a < 0.44 \cot \alpha$ y da valores satisfactorios, pero menos conservadores de P_{0a} , para F_r/F_a mayores a $0.67 \cot \alpha$.

Los cojinetes axiales de bolas con un $\alpha = 90^\circ$ sólo pueden soportar cargas axiales. La carga estática axial equivalente para este tipo de cojinete se obtiene mediante la fórmula

$$P_{0a} = F_a \quad (6)$$

7 Cojinetes radiales de rodillos

7.1 Capacidad nominal de carga estática radial

7.1.1 Capacidad nominal de carga estática radial para un cojinete

La capacidad nominal de carga estática radial para los cojinetes radiales de rodillos se obtiene mediante la fórmula

$$C_{or} = 44 \cdot \left(1 - \frac{D_{we} \cdot \cos \alpha}{D_{pw}} \right) \cdot i \cdot Z \cdot L_{we} \cdot D_{we} \cdot \cos \alpha \quad (7)$$

NOTA La ecuación (7) considera el mismo módulo de elasticidad, número de Poisson y la carga en los elementos rodantes distribuida como se indica en la nota de la Tabla 1.

7.1.2 Capacidad nominal de carga estática para conjuntos de cojinetes

7.1.2.1 Disposición "espalda a espalda" y "cara a cara"

La capacidad nominal de carga estática radial para dos cojinetes de rodillos de una sola hilera similares es dos veces la capacidad de un cojinete de una sola hilera, cuando son montados lado a lado en el mismo árbol tal que ellos operan como una unidad (montaje por pareja) con arreglos "espalda a espalda" o "cara a cara".

7.1.2.2 Disposición tándem

La capacidad nominal de carga estática radial para dos o más cojinetes de rodillos de una sola hilera similares es el número de cojinetes multiplicado por la capacidad de un cojinete de una sola hilera, cuando son montados lado a lado en el mismo árbol tal que ellos operan como una unidad (montaje por pareja o conjunto) en arreglo "tándem", propiamente fabricada y montada para la distribución uniforme de la carga.

7.2 Carga estática radial equivalente

7.2.1 Carga estática radial equivalente de un cojinete

La carga estática radial equivalente para los cojinetes radiales de rodillos con un $\alpha \neq 0^\circ$ es el mayor de los dos valores obtenidos mediante las fórmulas

$$P_{or} = X_0 F_r + Y_0 F_a \quad (8)$$

$$P_{or} = F_r \quad (9)$$

donde los valores de los factores X_o y Y_o se dan en la Tabla 3.

Tabla 3 — Valores de los factores X_o y Y_o para los cojinetes radiales de rodillos con un $\alpha \neq 0^\circ$

Tipo de cojinete	X_o	Y_o
De una hilera	0.5	$0.22 \cot \alpha$
De doble hilera	1	$0.44 \cot \alpha$

La carga estática radial equivalente para cojinetes radiales de rodillos con $\alpha = 0^\circ$, y sometidos solamente a carga radial, se obtiene mediante la fórmula

$$P_{or} = F_r \quad (10)$$

La capacidad de los cojinetes radiales de rodillos con $\alpha = 0^\circ$ para soportar las cargas axiales varía considerablemente con el diseño y fabricación del cojinete. Por consiguiente, el usuario de cojinetes debe consultar al fabricante para las recomendaciones en relación a la capacidad de carga equivalente en los casos donde los cojinetes con $\alpha = 0^\circ$ sean sometidos a carga axial.

7.2.2 Carga estática radial equivalente para conjuntos de cojinetes

7.2.2.1 Disposición "espalda a espalda" y "cara a cara" de cojinetes de rodillos de una hilera

Cuando se calcula la carga estática radial equivalente para dos cojinetes de rodillos de una sola hilera similares de contacto angular se usarán los valores X_o y Y_o para un cojinete de doble hilera y los valores F_r y F_a para las cargas totales, cuando los cojinetes sean montados lado a lado en el mismo árbol tal que ellos operen como una unidad (montaje por pareja) en el arreglo "espalda a espalda" o "cara a cara".

7.2.2.2 Disposición tándem

Cuando se calcula la carga estática radial equivalente para dos o más cojinetes de rodillos de una sola hilera similares de contacto angular se usarán los valores de X_o y Y_o para un cojinete de una sola hilera y los valores de F_r y F_a para las cargas totales en el arreglo, cuando los cojinetes sean montados lado a lado en el mismo árbol tal que ellos operen como una unidad (montaje por pareja o conjunto) en arreglo "tándem".

8 Cojinetes axiales de rodillos

8.1 Capacidad nominal de carga estática axial

8.1.1 Capacidad nominal de carga estática axial para cojinetes de simple y doble efecto

La capacidad nominal de carga estática axial para los cojinetes axiales de rodillos de simple y doble efecto se obtiene mediante la fórmula

$$C_{oa} = 220 \cdot \left(1 - \frac{D_{we} \cdot \cos \alpha}{D_{pw}} \right) \cdot Z \cdot L_{we} \cdot D_{we} \cdot \sin \alpha \quad (11)$$

donde Z es el número de rodillos que soportan carga en una dirección.

En casos dónde los rodillos tienen longitudes diferentes, $Z L_{we}$ se toma como la suma de la longitud, definida en 3.8, de todos los rodillos que llevan la carga en una dirección.

NOTA La ecuación (7) considera el mismo módulo de elasticidad, número de Poisson y la carga en los elementos rodantes distribuida como se indica en la nota de la Tabla 1

8.1.2 Capacidad nominal estática axial en conjuntos de cojinetes en disposición en tándem

La capacidad nominal de carga estática axial para dos o más cojinetes axiales de rodillos de simple efecto similares es el número de cojinetes multiplicado por la capacidad de un cojinete de simple efecto, cuando los cojinetes son montados lado a lado en el mismo árbol, tal que ellos operan como una unidad (montaje por pareja o conjunto) en arreglo "tándem", propiamente fabricada y montada para la distribución uniforme de la carga.

8.2 Carga estática axial equivalente

8.2.1 Carga estática axial equivalente para cojinetes de simple y doble efecto

La carga estática axial equivalente para los cojinetes axiales de rodillos con $\alpha \neq 0^\circ$ se obtiene mediante la fórmula

$$P_{oa} = 2.3 \cdot F_r \cdot \tan \alpha + F_a \quad (12)$$

Esta fórmula es válida para todas las proporciones entre la carga radial y la carga axial en el caso de cojinetes de doble efecto. Para cojinetes de simple efecto, es válido donde $F_r/F_a < 0.44 \cdot \cot \alpha$ y da valores satisfactorios, pero menos conservadores de P_{oa} , para F_r/F_a mayores a $0.67 \cot \alpha$.

Los cojinetes axiales de rodillos con un $\alpha = 90^\circ$ sólo pueden soportar cargas axiales. La carga estática axial equivalente para este tipo de cojinete se obtiene mediante la fórmula

$$P_{oa} = F_a \quad (13)$$

8.2.2 Carga estática axial equivalente para cojinetes con disposición en tándem

Cuando se calcula la carga estática axial equivalente para dos o más cojinetes de rodillos axiales similares, montados lado a lado en el mismo árbol tal que ellos operan como una unidad (montaje por pareja o conjunto) en arreglo "tándem", se usarán los valores de F_r y F_a para las cargas totales que actúan en el arreglo puede usar la ecuación (12).

9 Factor de seguridad estático

9.1 General

Es adecuada la selección de un cojinete de rodamiento fuertemente cargado cuando se garantiza que la capacidad de carga estática es apropiada. Esto puede ser determinado con ayuda del factor de seguridad de carga estática S_o , que se obtiene por la ecuación:

$$S_o = \frac{C_{or}}{P_{or}} \quad (14)$$

$$S_o = \frac{C_{oa}}{P_{oa}} \quad (15)$$

La ecuación (14) se aplica a rodamientos radiales y la (15) a rodamientos axiales.

Cuando el cojinete es dinámicamente cargado la selección puede ser hecha por duración nominal si se garantiza una capacidad de carga estática que garantice el comportamiento requerido para la aplicación.

Recomendaciones de valores de S_o se toman de los epígrafes 9.2 y 9.3 para varios requerimientos de operación, marcha suave, libres de vibraciones y se basan en la experiencia.

Para condiciones de operación específica deben ser consultados los fabricantes de cojinetes para obtener los valores de S_o .

9.2 Cojinetes de bolas

Recomendaciones de valores de los factores de seguridad de carga estática S_o para cojinetes de bolas se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4 — Recomendaciones de valores de los factores de seguridad de carga estática S_o para cojinetes de bolas

Tipo de operación	S_o min.
Aplicaciones de marcha silenciosa: Marcha suave, libre de vibraciones, alta precisión rotacional	2
Aplicaciones de marcha normal: Marcha suave, libre de vibraciones, precisión rotacional normal	1
Aplicaciones sujetas a cargas de choque: Cargas de choque pronunciadas ^a	1,5
^a Cuando la magnitud de las cargas no es conocida, deben ser empleados valores de S_o menores que 1,5. Si la magnitud de la carga de choque es conocida exactamente pueden ser aplicados valores menores de S_o .	

9.3 Cojinetes de rodillos

Recomendaciones de valores de los factores de seguridad de carga estática S_o para cojinetes de rodillos se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5 — Recomendaciones de valores de los factores de seguridad de carga estática S_o para cojinetes de rodillos

Tipo de operación	S_o min.
Aplicaciones de marcha silenciosa: Marcha suave, libre de vibraciones, alta precisión rotacional	3
Aplicaciones de marcha normal: Marcha suave, libre de vibraciones, precisión rotacional normal	1,5
Aplicaciones sujetas a cargas de choque: Cargas de choque pronunciadas ^a	3
Para cojinetes de rodillos esféricos axiales es recomendable usar en todos los tipos de operación S_o un mínimo de 4. Para cojinetes de agujas con aro exterior endurecido en todos los tipos de operación es recomendable un S_o mínimo de 3.	
^a Cuando la magnitud de las cargas no es conocida, deben ser empleados valores de S_o menores que 3. Si la magnitud de la carga de choque es conocida exactamente pueden ser aplicados valores menores de S_o .	

Anexo A (informativo)

Discontinuidades en el cálculo de la capacidad nominal de carga estática

A.1 Generalidades

El factor usado para el cálculo de capacidades nominales de carga estática C_{or} y C_{oa} según la NC ISO 76 es ligeramente diferente para cojinetes de bolas radiales y axiales de contacto angular.

Por consiguiente, existe una discontinuidad en la capacidad de carga estática axial calculada (C_{oa}) cuando un cojinete con el ángulo de contacto $\alpha = 45^\circ$ es primero considerado como un cojinete radial ($C_{oa} = C_{or} / Y_o$) y luego como un cojinete axial.

Este anexo explica por qué los factores de capacidad de carga son diferentes, y muestra cómo las capacidades de carga pueden recalcularse para lograr comparaciones correctas bajo las mismas condiciones.

A.2 Símbolos

Son usados los mismos símbolos que en NC ISO 76: 2007. Los símbolos adicionales son:

C_{oaa} - es la capacidad nominal de carga estática axial ajustada para un cojinete axial ($\alpha > 45^\circ$), en newtons;

C_{oar} - es la capacidad nominal de carga estática axial ajustada para un cojinete radial ($\alpha \leq 45^\circ$), en newtons;

r_e - es el radio de curvatura de la sección transversal del camino de rodadura del aro exterior, en milímetros.

r_i - es el radio de curvatura de la sección transversal del camino de rodadura del aro interior, en milímetros;

A.3 Diferentes factores para calcular la capacidad de carga estática de los cojinetes de bolas radiales y axiales de contacto angular.

A.3.1 Cojinete radial de bolas de contacto angular

En el cálculo de C_{or} la osculación relación entre las bolas y el camino de rodadura es de acuerdo con 5.1.1

$$r_i / D_w \leq 0.52 \text{ y } r_e / D_w \leq 0.53$$

A.3.2 Cojinete axial de bolas de contacto angular

En el cálculo de C_{oa} la osculación entre las bolas y el camino de rodadura es de acuerdo con 6.1

$$r_i / D_w \leq 0.54 \text{ y } r_e / D_w \leq 0.54$$

A.4 Comparación de la capacidad nominal de carga estática axial, C_{oar} y C_{oaa} para cojinetes de bolas radiales y axiales de contacto angular

A.4.1 Generalidades

Para ciertas aplicaciones los cojinetes de bolas de contacto angular con ángulos de contacto $\alpha \leq 45^\circ$ y $\alpha > 45^\circ$ son fabricados con la misma osculación entre bolas y caminos de rodadura, pero en ocasiones se hace necesario calcular y también comparar sus verdaderas capacidades de cargas axiales.

Las capacidades nominales de carga estáticas C_{or} y C_{oa} pueden ser calculadas con ayuda de la NC ISO 76 o tomadas de un catálogo de cojinetes, si estuvieran disponibles.

Sin embargo, como se describió en el epígrafe A.3, C_{or} y C_{oa} son calculadas con diferentes osculaciones para cojinetes radiales y axiales. Por consiguiente, en caso de un cálculo correcto, C_{or} y C_{oa} tienen que ser recalculadas como las capacidades básicas ajustadas de carga axiales estáticas C_{oar} y C_{oaa} , basadas en el supuesto de de la misma osculación.

El recálculo puede realizarse con la ayuda de las ecuaciones (A.1) a (A.4) para dos diferentes osculaciones: osculación en cojinete radial y osculación en cojinete axial como se define en NC ISO 76.

Por ser más conveniente, las comparaciones son realizadas para las capacidades axiales solamente.

El ángulo de contacto α es asumido constante, independiente de la carga axial, lo cual significa que la precisión se reduce para los cojinetes con ángulos de contacto pequeños, sometidos a cargas pesadas.

A.4.2 Cojinetes de bolas de contacto angular con osculación radial

$$(r_i / D_w \leq 0.52 \text{ y } r_e / D_w \leq 0.53)$$

$$C_{oar} = C_{or} / Y_o \quad (\text{A.1})$$

$$C_{oaa} = 1.43 C_{oa} \quad (\text{A.2})$$

A.4.3 Cojinetes de bolas de contacto angular con osculación axial

$$(r_i / D_w \leq 0.54 \text{ y } r_e / D_w \leq 0.54)$$

$$C_{oar} = 0.7 C_{or} / Y_o \quad (\text{A.3})$$

$$C_{oaa} = C_{oa} \quad (\text{A.4})$$

A.5 Ejemplos

A.5.1 Cojinetes con $\alpha = 45^\circ$

Comparando las capacidades nominales de carga estáticas axiales ajustadas de un cojinete de bolas de contacto angular con $\alpha = 45^\circ$, cuando este es considerado como un cojinete radial y como un cojinete axial. Para el cojinete seleccionado se tiene que $(D_w \cdot \cos \alpha) / D_{pw} = 0.16$. El cojinete tiene la osculación radial.

Para un cojinete radial

C_{Or} se calcula de acuerdo con la ecuación (1) ej: $C_{Or} = f_o i Z D_w^2 \cos \alpha$ De acuerdo con la tabla 1, $f_o = 14,9$ y de acuerdo a la Tabla 2, $Y_o = 0,22$

$$C_{Or} = 14,9 \cdot Z \cdot D_w^2 \cdot \cos 45^\circ = 10,54 Z D_w^2$$

Insertando C_{Or} y Y_o en la ecuación (A.1)

$$C_{Oar} = 10,54 \cdot Z \cdot \frac{D_w^2}{0,22} = 47,9 Z D_w^2$$

Para cojinetes axiales

C_{Oa} se calcula de acuerdo con la ecuación (4) ej: $C_{Oa} = f_o i Z D_w^2 \sen \alpha$ de acuerdo con la Tabla 1, $f_o = 48,8$

$$C_{Oaa} = 1,43 \cdot 48,8 \cdot Z \cdot D_w^2 \cdot \sen 45^\circ = 49,3 Z D_w^2$$

Después de recalcular las capacidades nominales de carga estáticas $C_{oar} \approx C_{oaa}$, lo cual confirma que la discontinuidad no es significativa.

A.5.2 Cojinetes de bolas de contacto angular con $\alpha = 45^\circ$

Calculando la capacidad nominal de carga estática axial de un cojinete de bolas de contacto angular, con ángulo de contacto de 40° . Con osculación axial, $D_w / D_{pw} = 0.091$, diámetro de bola $D_w = 7.5$ mm con número de hileras de bolas = 1 y el número de bolas $Z = 27$.

De acuerdo con la Tabla 1, para $(D_w \cdot \cos 40^\circ) / D_{pw} = 0.091 \times \cos 40^\circ = 0.07$, y luego $f_o = 16.1$, de la Tabla 2. $Y_o = 0.26$.

Ecuación (1)

$$C_{Or} = f_o \cdot Z \cdot D_w^2 \cdot \cos \alpha = 16.1 \times 27 \times 7.5^2 \times \cos 40^\circ = 18\ 731$$

NOTA Esta capacidad de carga esta basada en osculación radial

De acuerdo a la ecuación (A.3)

$$C_{Oar} = 0.7 \times 18\ 731 / 0.26 = 50\ 430$$

$$C_{Oar} = 50\ 400\ \text{N}$$

A.5.3 Cojinetes de bolas de contacto angular con $\alpha = 60^\circ$

Calculando la capacidad nominal de carga estática axial de un cojinete de bolas de contacto angular, con ángulo de contacto de 60° . Con osculación axial, $D_w / D_{pw} = 0.091$, diámetro de bola $D_w = 7.5$ mm y el número de bolas $Z = 27$.

De acuerdo con la Tabla 1, para $(D_w \cdot \cos 60^\circ) / D_{pw} = 0.091 \times \cos 60^\circ = 0.046$, y luego $f_o = 57,82$.

Ecuación (4)

$$C_{oa} = f_o \cdot Z \cdot D_w^2 \cdot \sin \alpha = 57,82 \times 27 \times 7.5^2 \times \sin 60^\circ = 76\,049$$

NOTA Esta capacidad de carga esta basada en osculación axial

De acuerdo a la ecuación (A.4)

$$C_{oaa} = 76\,049$$

$$C_{oaa} = 76\,000 \text{ N}$$