

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



*FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA*

*SELECCIÓN DE RODAMIENTOS PARA
TRANSPORTADORES DE BANDA*

POR

MINOR BORNEO LÓPEZ ALVARADO

*AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO*

Guatemala, mayo de 1997

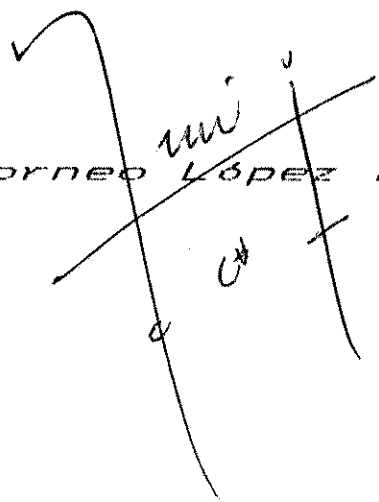
08
+ (3941)
c.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

SELECCION DE RODAMIENTOS PARA
TRANSPORTADORES DE BANDA

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela Ingeniería Mecánica.

The signature is written in black ink and is somewhat stylized. It features a large, sweeping initial 'M' that curves upwards and to the left. The name 'Minor Borneo López Alvarado' is written across the middle of the signature. There are some additional scribbles and marks, including a small 'c' and a '+' sign, near the bottom of the signature.

Minor Borneo López Alvarado

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Ing. Herbert René Miranda Barrios.
VOCAL 1: Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra.
VOCAL 2: Ing. Jack Douglas Ibarra Solorzano.
VOCAL 3: Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez.
VOCAL 4: Br. Victor Rafael Lobos Aldana.
VOCAL 5: Br. Wagner Gustavo López Cáceres.
SECRETARIO: Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas.

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO: Ing. Jorge Mario Morales González.
EXAMINADOR: Ing. José Arturo Estrada.
EXAMINADOR: Ing. Juan Emilio Castañón.
EXAMINADOR: Ing. Eduardo Asumanche Morales.
SECRETARIO: Ing. Edgar Aurelio García Bravatti.

Guatemala,
Agosto 14 de 1996.

Señor Director de la
Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Presente.

Señor Director:

Cumpliendo con lo resuelto por la Dirección, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de tesis titulado "SELECCION DE RODAMIENTOS PARA TRANSPORTADORES DE BANDA" desarrollado por el estudiante universitario Minor Borneo López Alvarado, previo a optar por el título de Ingeniero Mecánico.

El trabajo presentado por el estudiante López Alvarado ha sido desarrollado cumpliendo con los requisitos reglamentarios, consultando la bibliografía adecuada y siguiendo las recomendaciones de la asesoría.

Por todo lo anterior, tanto el autor como la asesoría, somos responsables del contenido y conclusiones del presente trabajo de tesis y en consecuencia, por medio de la presente me permito APROBARLO para los efectos de graduación del autor.

Atentamente



RODOLFO STUARDO SAMAYOA BARRIOS
Ingeniero Mecánico Eléctrico
Colegiado.: 3078



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Coordinador del área de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del asesor, y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado **Selección de Rodamientos para Transportadores de Banda**, del estudiante Minor Borneo López Alvarado, recomienda su autorización.

ID Y ENSEÑAR A TODOS

Pedro E. Kubes

Ing. Pedro Enrique Kubes Zarek

Coordinador de Area

Guatemala, octubre de 1, 1996.

/behdei.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
1996



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas, Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Area de Diseño, al trabajo de tesis titulado **Selección de Rodamientos para Transportadores de Banda**, del estudiante **Minor Borneo López Alvarado**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

DIRECTOR DE ESCUELA

Guatemala, mayo de 1, 1997.

/behdei

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas, Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, al trabajo de tesis titulado SELECCION DE RODAMIENTOS PARA TRANSPORTADORES DE BANDA, presentado por el estudiante universitario Minor Borneo López Alvarado, procede a la autorización para la impresión del mismo.

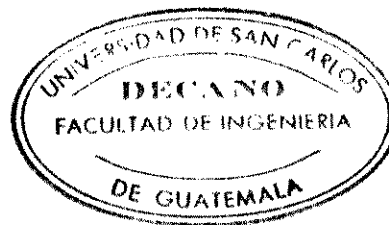
IMPRIMASE


ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS

DECANO

Guatemala, mayo de 1, 997.

/behdei.



AGRADECIMIENTO

A Dios, Todopoderoso, que por su amor
y misericordia me dio de su sabiduría
e inteligencia para llegar hasta aquí.

ACTO QUE DEDICO:

A MI MADRE, ESPECIALMENTE,
POR SU INCONDICIONAL APOYO Y AYUDA.

A MI PADRE, POR SUS
CONSEJOS, GRACIAS.

A MI ESPOSA, POR
SU AMOR Y APOYO.

A MIS HIJOS:
VIVIAN Y PABLO
CON TODO MI AMOR

A

ÍNDICE GENERAL

	Página
B LISTA DE GRÁFICAS	6
C LISTA DE SÍMBOLOS	7
D GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS	9
E INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I	
TIPOS DE RODAMIENTOS	14
1.1 Rodamientos rígidos a bolas	14
1.1.1 Rodamientos con ranura para anillo elástico	14
1.1.2 Rodamientos para aplicaciones de funcionamiento silencioso	15
1.1.3 Rodamientos rígidos de bolas apareados	15
1.2 Rodamientos de bolas a rótula	16
1.2.1 Rodamientos obturados	17
1.2.2 Rodamientos de anillo interior prolongado	17
1.3 Rodamientos de bolas con contacto angular	17
1.3.1 Rodamientos de una hilera de bolas con contacto angular	17
1.3.2 Rodamientos para apareamiento universal	18
1.4 Rodamientos de rodillos cilíndrico	19
1.5 Rodamientos de aguja	20
1.6 Rodamientos de rodillos a rótula	21
1.6.1 Rodamientos obturados	21
1.6.2 Rodamientos de rodillos a rótula para cribas vibratorias	22
1.7 Rodamientos de rodillos cónicos	22
1.7.1 Rodamientos de rodillos cónicos con diseños especiales	22
1.7.2 Rodamientos de una hilera de rodillos cónicos	22
1.8 Rodamientos axiales de bolas	23
1.8.1 Rodamientos axiales de bolas de simple efecto	23

1.8.2	Rodamientos axiales de bolas de doble efecto	24
1.9	Rodamientos axiales de rodillo cilíndrico	25
1.10	Rodamientos axiales de rodillo a rótula	25
 CAPITULO II		
TRANSPORTADORES		26
2.1	Clasificación	26
2.1.1	Toboganes	26
2.1.2	Transportador de ruedas y rodillos	26
2.1.3	Transportadores motorizados	26
2.1.4	Transportador de superficies con cadena	26
2.2	Partes que componen un transportador	27
2.3	Configuración mas corriente de transportadores de banda	27
2.4	Aplicación de los transportadores	28
2.5	Determinación de la velocidad	29
2.6	Determinación de la potencia	29
2.7	Determinación de la tensión	29
 CAPITULO III		
SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS		31
3.1	Selección del tipo de rodamiento	31
3.1.1	Espacio disponible	34
3.1.2	Desalineación	34
3.1.3	Precisión	35
3.1.4	Velocidad	35
3.1.4.1	Velocidades nominales	37
3.1.4.2	Velocidades superiores a la velocidad nominal	39
3.1.4.3	Casos especiales	39
3.1.4.4	Bajas velocidades	40
3.1.4.5	Movimientos de rotación oscilantes	40
3.1.4.6	Condiciones estacionarias	40
3.1.5	Rigidez	41
3.1.6	Desplazamiento axial	41
3.2	Selección del tamaño del rodamiento	42
3.2.1	Teoría sobre la vida de los rodamientos	42
3.2.2	Capacidad de carga	42
3.2.2.1	Carga estática	44
3.2.2.2	Carga dinámica	44
3.2.2.3	Carga equivalente	44

3.2.2.4	Carga estática equivalente	45
3.2.3	Capacidad de vida	46
3.2.3.1	Vida nominal	47
3.2.4	Selección del tamaño del rodamiento que utiliza la fórmula de vida	48
3.2.5	Formula de vida nominal ajustada	50
3.2.5.1	Factor de ajuste por confiabilidad, a_1	51
3.2.5.2	Factor de ajuste por material, a_2	53
3.2.5.3	Factor de ajuste según condiciones de aplicación, a_3	53
3.2.5.4	Aplicación de los factores de ajuste de vida	54
3.2.6	Formula de vida de acuerdo a nuevas teorías	54
3.2.7	Selección del tamaño que utiliza la capacidad de carga estática	57
3.2.7.1	Capacidad de carga estática necesaria	58
3.2.7.2	Comprobación de la capacidad de carga estática	59
3.3	Rozamiento	60
3.3.1	Cálculo del par de rozamiento	60
3.3.2	Cálculo del par de rozamiento con mayor precisión	61
3.3.3	Pérdida de potencia y temperatura en el rodamiento	62
3.3.4	Par de arranque	63

CAPITULO IV

MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE LOS RODAMIENTOS 64

4.1	Vigilancia durante el funcionamiento	64
4.2	Revisión durante los paros	65
4.3	Desmontaje de rodamientos	66
4.4	Averías en los rodamientos	68
4.5	Montaje de los rodamientos	71
4.6	Lubricación de los rodamientos	75
4.6.1	Principios básicos	76
4.6.2	Grasas	76
4.6.3	Aceites	77
4.6.4	Lubricantes sintéticos	77
4.6.5	Lubricantes secos	78
4.6.6	Compatibilidad de los lubricantes	78
4.6.7	Prevención de la corrosión	78
4.6.8	Temperatura límite del lubricante	79
4.6.9	Selección del lubricante	79
4.7	Herramientas de montaje y desmontaje	83
4.8	Almacenamiento	83

CAPITULO V
SELECCIÓN DE RODAMIENTOS PARA UN TRANSPORTADOR DE
BANDA, CASO ESPECIFICO 84

5.1	Reconocimiento de la necesidad	84
5.2	Especificaciones y requisitos	84
5.3	Cálculos	85
5.4	Elementos para el montaje	95
5.5	Programa de mantenimiento	95
5.5.1	Inspecciones	95
5.5.2	Lubricación	95

CAPITULO VI
TECNOLOGÍA DE LOS RODAMIENTOS 97

6.1	Diseño y manufactura	97
6.1.1	Contacto rodante	97
6.1.2	Diseño del rodamiento	98
6.1.3	Materiales	100
6.1.4	Manufactura	101
6.1.5	Medición	103
6.1.6	Estandarización	103
6.2	Características de operación	103
6.2.1	Dinámica de los rodamientos	103
6.2.2	Momento en los rodamientos	105
6.2.3	Causa de vibración en rodamientos	105
6.2.4	Manejo de precarga	106
6.2.5	Características térmicas	106
6.3	Rangos de vida	107
6.3.1	Criterio de los rangos	107
6.3.2	Confiabilidad	108
6.4	Análisis de carga	108
6.4.1	Carga axial	109
6.4.2	Carga radial	109
6.4.3	Carga combinada	109
6.4.4	Cargas variables	110
6.4.5	Cargas de oscilación	110
6.4.6	Desequilibrio de cargas	112
6.4.7	Inercia de las cargas	112
6.4.8	Transmisión de energía de las cargas	113
6.4.9	Reacción en los rodamientos	114

F	APÉNDICE	115
G	CONCLUSIONES	118
H	RECOMENDACIONES	120
I	BIBLIOGRAFÍA	122
J	ANEXOS	124

LISTA DE GRÁFICAS Y TABLAS

	página
Rodamientos radiales y propiedades de carga	32
Rodamientos axiales y propiedades de carga	33
Gráfica de selección de rodamientos de bolas y rodillos	36
Valores de dn , vrs. tipo de rodamientos	37
Valores de reducción, f , de velocidad en los rodamientos según su diámetro	38
Valores de capacidad de carga C y C_0	43
Valores para factor de carga X, Y	45
Valores para factor de carga X_0, Y_0	46
Valores para vida nominal L_{h10}	47
Valores para el cálculo de la vida	49
Factores de temperatura para C	50
Relaciones factor de ajuste a_1	52
Valores para factor $a(skf)$	55
Valores para nc	56
Valores de seguridad estático S_0	59
Valores de coeficiente de fricción	61
Comparación entre grasas derivadas del petróleo y de derivados sintéticos	80
Deterioro de grasas a altas temperaturas	81
Rangos de operación normales y críticos	82
Rangos críticos de lubricación	82

LISTA DE SÍMBOLOS

n_{max}	, Máxima velocidad de giro permitida, en rpm
n	, Velocidad nominal, en rpm
f	, Factor de reducción
P	, Carga equivalente, lb
F_r	, Carga Radial, lb
F_a	, Carga de empuje (axial), lb
V	, Factor de rotación
X	, Factor de carga radial,
Y	, Factor de carga axial,
P_0	, Carga estática equivalente, en N
F_r	, Carga radial real, en N
F_a	, Carga axial real, en N
X_0	, Factor de carga radial,
Y_0	, Factor de carga axial,
L_{10}	, Vida nominal, en millones de revoluciones
C	, Capacidad de carga dinámica, en N
P	, Carga dinámica equivalente, en N
k	, Exponente de la fórmula de vida
L_{10h}	, Vida nominal, en horas de servicio
N	, Velocidad de giro, en revoluciones por minuto
L_{10a}	, Vida nominal ajustada,
a_1	, Factor de ajuste de vida, o fiabilidad
a_2	, Factor de ajuste de vida, por material
a_3	, Factor de ajuste de vida, por condiciones de funcionamiento
L_{10na}	, Vida nominal ajustada según la nueva teoría de la vida
a_{1na}	, Factor de ajuste de vida
C_0	, Capacidad de carga estática, en N
S_0	, Factor de seguridad estático
M	, Par de rozamiento, en lbs-pulg

μ	, Coeficiente de rozamiento,
F	, Carga aplicada, en lbs.
d	, Diámetro del agujero, en plg.
d_m	, Diámetro medio, mm
f_r	, Coeficiente que depende del tipo de rodamiento y su lubricación
n	, Velocidad en rpm
ν	, Viscosidad cinemática del aceite, en mm ² /seg
f_1	, Coeficiente que depende del tipo de rodamiento y de la carga aplicada
P_r	, Carga sobre el rodamiento que determina el par de rozamiento, N
a, b	, Exponentes que dependen del tipo de rodamiento
N_f	, Pérdida de potencia, en W
C	, Rango de carga dinámica, lbs.(mm)
C_0	, Rango de carga estática, lbs.(mm)
t_r	, Factor, que depende de la geometría y materiales
t_f	, Factor, que depende del tipo de rodamiento
i	, Número de hileras de elementos rodantes
z	, Número de elementos rodantes por hilera
α	, Ángulo de contacto del rodamiento, grados
D	, Diámetro de los elementos rodantes, pulg. (mm)
L_e	, Longitud efectiva de contacto entre el rodillo y el anillo, en pulg. (mm)
d_m	, Diámetro de paso de los elementos rodantes, pulg. (mm)
E	, Transferencia de energía, lbs-pie
W	, Peso del cuerpo flotante, lbs.
g	, Gravedad pies/seg
K	, Radio de giro, pies
F	, Fuerza tangencial, lbs.
H	, Caballos de fuerza transmitidos
D_m	, Diámetro de el componente de la máquina en la cual actúa la fuerza tangencial, plg.
N	, Velocidad rotacional, rpm

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Anima. Área del rodamiento que hace contacto con el asiento correspondiente en el árbol o eje.

Ajuste del alojamiento. Magnitud de la interferencia o juego entre el diámetro exterior del rodamiento y el asiento del ánima del alojamiento.

Ajuste del árbol. Magnitud de la interferencia o juego entre el diámetro interior del rodamiento y el diámetro del asiento de éste en el árbol.

Arandela. (Rodamiento axial) Anillo plano sobre el cual se apoyan los canales del rodamiento axial.

Asiento del rodamiento en el alojamiento. Parte del ánima del alojamiento que está en contacto con el diámetro exterior del rodamiento.

Asiento del rodamiento en el eje. Porción del eje sobre el cual se monta el rodamiento

Canal. Camino del elemento rodante sobre cualquiera de los anillos de un rodamiento.

Capacidad nominal básica de carga. La carga de empuje calculada, constante, radial o axial que un grupo de rodamientos en apariencia idénticos pueden soportar teóricamente durante 1 millón (10^6) de revoluciones.

Capacidad nominal básica de carga estática. La carga estática que corresponde a una deformación permanente total de la bola y el anillo, o el rodillo y el anillo, con el contacto que produzca la mayor fatiga, de 0.0001 " del diámetro del elemento rodante.

Capacidad nominal de carga. Las capacidades nominales de carga para velocidades específicas se basan en una vida nominal de 500 hrs. (AFBMA).

Carga combinada. Combinación de todas las fuerzas radiales y axiales que actúan sobre el rodamiento.

Carga de empuje. (Axial) Carga provocada por una sola fuerza, o la resultante de varias fuerzas, que actúa en una dirección

paralela al eje del rodamiento.

Carga de empuje equivalente. La carga calculada, constante, céntrica, axial, la cual, si se aplicara a un rodamiento axial, daría la misma vida que la alcanzada en las condiciones y rotación reales.

Carga estática. Carga que actúa sobre un rodamiento que no gira.

Carga estática equivalente. La carga de empuje calculada, radial estática o céntrica estática, que si se aplicara a un rodamiento provocaría la misma deformación permanente total, con el contacto que produzca la fatiga máxima en el elemento rodante o canal, que el que ocurre en una condición real de carga.

Carga radial. Es la que puede resultar de una sola fuerza, o la resultante de varias fuerzas que actúan en una dirección en ángulos rectos con el eje del rodamiento.

Carga radial equivalente. La carga calculada, constante, estacionaria, radial, la cual, si se aplicara a un rodamiento radial, daría la misma vida que la alcanzada en condiciones reales de carga y rotación.

Cavidad. (Jaula) Porción de la jaula a la cual se le da forma para recibir el elemento rodante.

Collares. Anillo interior, o exterior de un rodamiento.

Cono. Anillo interior de un rodamiento de rodillos cónicos.

Diámetro exterior. Área del rodamiento que hace contacto con el asiento en el alojamiento del mismo.

Diámetro de paso, elementos rodantes. El diámetro del círculo de paso generado por el centro de un elemento rodante a medida que recorre el eje de rotación del rodamiento.

Dimensiones límite. Dimensiones para el ánima, diámetro exterior, ancho y aristas.

Espaciador. Véase jaula.

Jaula. Dispositivo que rodea parcialmente los elementos rodantes y se mueve con ellos. Su propósito principal es espaciar los elementos rodantes, en los rodamientos de

bolas, y espaciar y guiar en los rodamientos de rodillos.

Juego axial. Véase juego longitudinal.

Juego diametral. Véase juego interno radial.

Juego interno. Véase juego interno radial.

Juego interno radial. Para un rodamiento de contacto radial con una sola fila, éste es el diámetro promedio del canal del anillo exterior, menos el diámetro promedio del canal del anillo interior, menos el doble del diámetro del elemento rodante.

Juego longitudinal. Medida del movimiento máximo posible, paralelo al eje del rodamiento, del anillo interior, en relación con el anillo exterior.

Juego radial. Véase juego interno radial.

Orificio de lubricación. Orificio en los anillos para permitir el paso del lubricante a los elementos rodantes.

Precarga. Una característica de carga interna en un rodamiento que es independiente de cualquier carga externa radial y/o axial llevada por el mismo.

Protector. Parte circular no fija a uno de los anillos del rodamiento para cubrir el espacio intermedio, pero que no se mueve en contacto con el otro anillo.

Ranura de carga. Ranura en el respaldo del anillo de rodadura que permite el montaje de un número máximo de elementos rodantes.

Ranura de lubricación. Rebajo continuo en un rodamiento para llevar lubricante.

Recorrido lateral. Véase juego longitudinal.

Rodamiento de alineación. Aquel que, en virtud de su forma, es capaz de admitir una falta de alineación considerable.

Rodamiento antifricción. Término utilizado comúnmente para los rodamientos de bolas y rodillos.

Rodamiento autocontenido. Conjunto unitario de un rodamiento (no separable)

Rodamiento de auto-alineación. Rodamiento con compensación interconstruida para la deflexión o falta de alineación del

eje o del alojamiento.

Rodamiento de complemento completo. Rodamiento sin jaula con un número máximo de elementos rodantes.

Rodamiento de doble fila. Rodamientos con dos filas de elementos rodantes.

Rodamiento de empuje. Rodamiento diseñado principalmente para soportar una carga paralela al eje del árbol.

Rodamiento de empuje de rodillos esféricos. Según lo mencionado anteriormente y que utiliza rodillos esféricos como elementos rodantes.

Rodamiento estándar. Rodamiento que se conforma a la norma "General boundary plans of metric and inch dimensions" de la AFBMA.

Rodamiento fijo. Rodamiento que sostiene a una parte del árbol contra el movimiento axial.

Rodamiento flotante. Rodamiento diseñado o montado de tal modo que permite el desplazamiento axial entre el árbol y el alojamiento.

Rodamiento sellado. Rodamiento de bolas o rodillos protegido contra la pérdida de lubricante y la contaminación exterior.

Rodamiento separable. Conjunto de un rodamiento que puede separarse completa o parcialmente en sus partes componentes.

Rodamiento de bolas conrad. Tipo de rodamiento de bolas sin ranura de sello.

Separador. Véase jaula

Taza. Anillo exterior de rodamiento de rodillos cónicos.

Vida nominal. Para un grupo de rodamientos aparentemente idénticos, la vida nominal L_{10} es la vida, en millones de revoluciones, que el 90% del grupo completará o excederá.

Vida promedio. La suma de todas las vidas de los rodamientos utilizados en una prueba de vida, dividida entre el número de tales pruebas.

INTRODUCCIÓN

Los transportadores son aparatos por gravedad o motorizados que se utilizan para mover materiales o cargas uniformes de modo continuo de un punto a otro, de tal manera que una vez instalados se necesita mucho tiempo, interrupciones y dinero para cambiar la disposición del equipo.

El diseño de una disposición de rodamientos para transportadores exige la adecuada selección de un tipo de rodamiento como de su tamaño mismo, pero eso no basta, ya que dicha disposición no sólo se compone de determinado número de rodamientos, sino también incluye los componentes asociados con ellos y su forma adecuada, tales como ejes, soportes, tipo y cantidad de lubricante, ajuste y juego interno del rodamiento apropiados, y obturaciones eficaces.

¿ Por qué la selección y cuidado exhaustivos en los rodamientos?, porque en primer lugar es probable que los rodamientos no alcancen su natural duración, lo cual ya tiene su importancia tratándose de un gran número o de tamaños grandes y costosos. En segundo lugar, y a menudo aun más importante, se corre un gran riesgo de que pueda producirse una rotura precisamente cuando una interrupción del trabajo quizá sea más inoportuna. En tercer lugar, el buen funcionamiento de la máquina o equipo depende en alto grado del estado de los rodamientos. Si la selección y aplicación se ha efectuado correctamente y además se monta y se cuida debidamente, conserva su precisión durante largo tiempo.

CAPITULO I

TIPOS DE RODAMIENTOS

1.1 RODAMIENTOS RÍGIDOS A BOLAS

Los rodamientos rígidos a bolas son los más empleados, pues sus profundos canales de rodadura, sin ranura de entrada, posibilitan la absorción de cargas radiales y axiales en ambas direcciones, así como cargas combinadas. Gracias a la sencilla construcción de estos rodamientos, es posible su fabricación en alta precisión y para elevadas velocidades. Pueden ser suministrados con tapas de protección y de obturación en uno o ambos lados, con ranura en el anillo exterior y con anillo de sujeción para evitar la entrada de elementos extraños y la salida de grasa, (fig. 1.1).

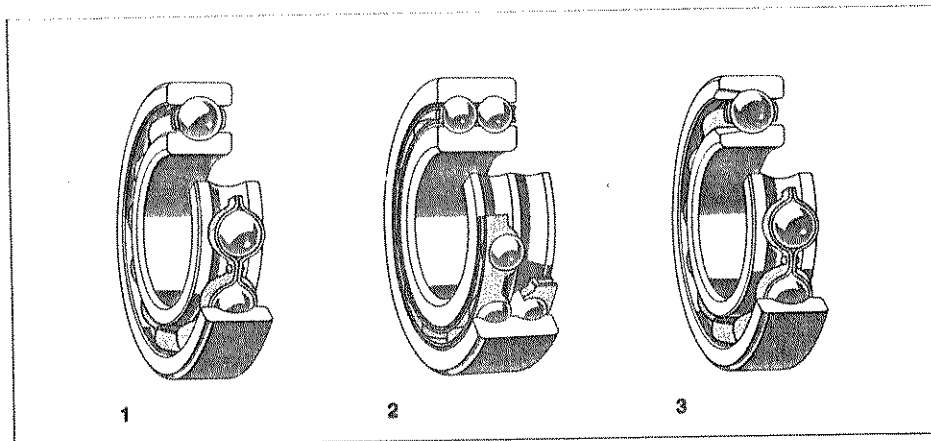


fig. 1.1

1.1.1 Rodamientos con ranura para anillo elástico

Estos rodamientos con ranura para anillo elástico en el anillo interior simplifican el diseño de la disposición del rodamiento en muchos casos, ya que pueden ser retenidos en el alojamiento mediante un anillo elástico, (fig. 1.2).

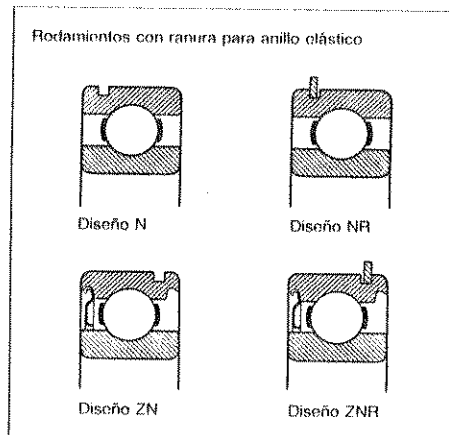


fig. 1.2

1.1.2 Rodamientos para aplicaciones de funcionamiento silencioso

Los tamaños pequeños de las series 60 y 62 con o sin placa(s) de protección o de obturación también se suministran en una calidad especial de "bajo nivel de ruido" para aplicaciones en que un funcionamiento silencioso es de primordial importancia.

1.1.3 Rodamientos rígidos de bolas apareados

Para aquellas aplicaciones en las cuales la capacidad de carga de un solo rodamiento resulta inadecuada o cuando el eje ha de ser fijado axialmente en ambos sentidos con un determinado juego interno. Pueden suministrarse en tres disposiciones:

- a.- Disposición en tándem, en la cual las líneas de carga están paralelas, (fig. 1.3).
- b.- Disposición espalda con espalda, cuando las líneas de carga divergen hacia el eje del rodamiento, (fig. 1.3).
- c.- Disposición frente a frente, donde las líneas de carga convergen hacia el rodamiento, (fig. 1.3).

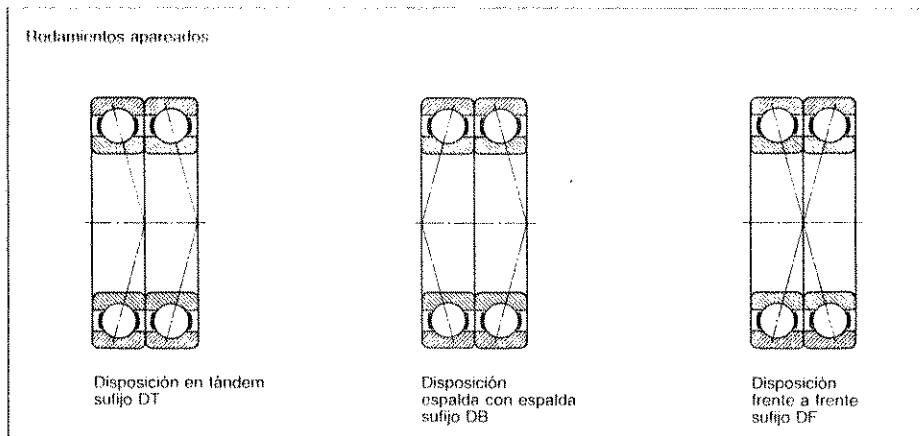


fig. 1.3

1.2 RODAMIENTOS DE BOLAS A ROTULA

Este tipo de rodamientos tienen la pista de rodadura del anillo exterior en forma de superficie esférica cóncava, por lo que giran conjuntamente dos hileras de bolas, por lo tanto, los anillos interior y exterior pueden oscilar sin que sean transmitidas a las bolas cargas de momento. Debido a su construcción interna, estos rodamientos no son apropiados para absorber fuertes cargas axiales. (fig. 1.4).

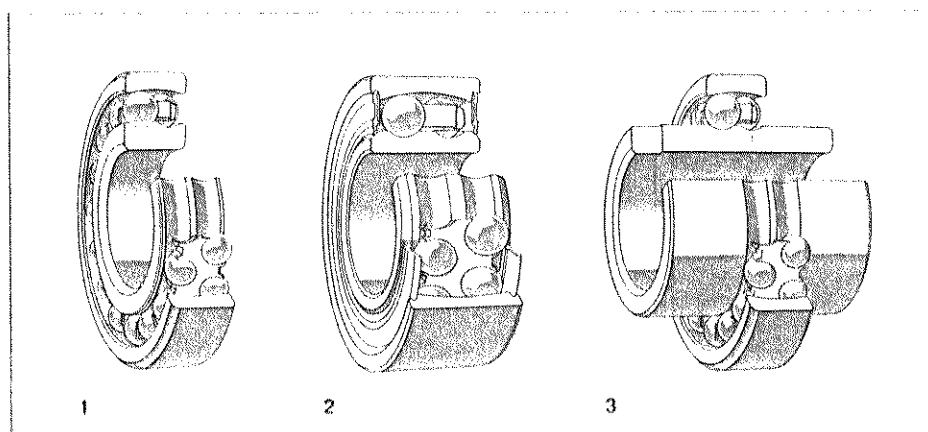


fig. 1.4

1.2.1 Rodamientos obturados

Los rodamientos de bolas a rótula se suministran también en versión obturada con placas rozantes en ambos lados. El diámetro exterior de la placa de obturación queda alojado en una ranura del anillo exterior proporcionando una obturación hermética sin deformación, mientras que el labio de la placa de obturación ejerce una ligera presión contra un rebaje del anillo interior. (fig. 1.4)

1.2.2 Rodamientos con anillo interior prolongado

Este tipo de rodamientos se emplean en aplicaciones con ejes fabricados de diámetros comerciales. Estos se fijan axialmente por medio de espigas o prisioneros, los cuales encajan en una ranura existente en un de los lados de anillo interior, que impiden al mismo tiempo que esté último gire sobre el eje.

1.3 RODAMIENTOS DE BOLAS CON CONTACTO ANGULAR

En los rodamientos de contacto angular, las líneas de contacto en cuya dirección son transmitidas las cargas, desde un camino de rodadura al otro, a través de las bolas, están inclinadas un cierto ángulo en relación con el plano del rodamiento. Estos rodamientos no son desmontables, y son apropiados para cargas combinadas y cargas puramente axiales en una sola dirección. Cuanto mayor es el ángulo de contacto, tanto mayor es la capacidad de carga axial. Estos rodamientos también se fabrican con cuatro puntos de contacto, (fig. 1.5.3), los cuales tienen los caminos de rodadura diseñados, de manera que puedan soportar cargas axiales en uno u otro sentido.

1.3.1 Rodamientos de una hilera de bolas con contacto angular

Los rodamientos de una hilera de bolas con contacto angular (fig. 1.5.1) pueden soportar cargas axiales en un sentido

solamente. Una carga radial aplicada sobre el rodamiento da lugar a una fuerza que actúa en el sentido axial que debe ser contrarrestada, por lo que normalmente se disponen de modo que puedan ajustarse a un segundo rodamiento. También se fabrican rodamientos de dos hileras de bolas y se parecen en diseño a dos rodamientos de una hilera de bolas montados en disposición espalda con espalda, pero su anchura es menor que la de dos rodamientos de una hilera de bolas juntos.

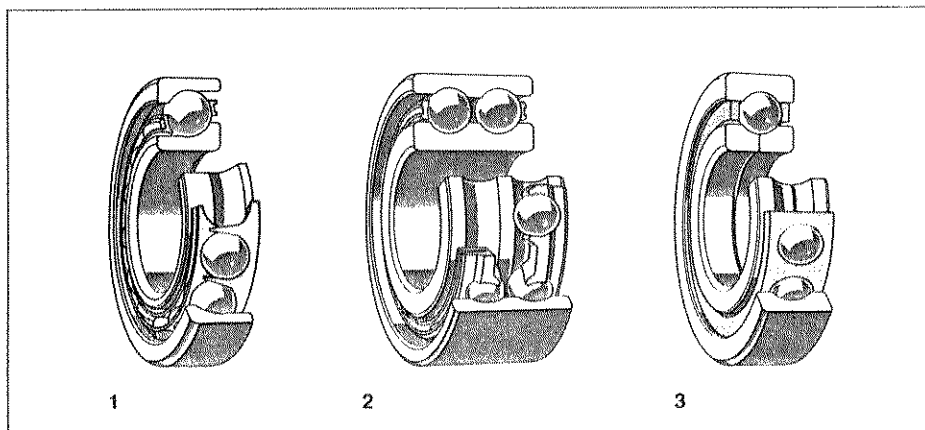


fig. 1.5

1.3.2 Rodamientos para apareamiento universal

Se fabrican especialmente, de manera que cuando se montan al azar uno junto a otro, se obtiene sin utilizar medios de ajuste adicionales, un juego axial predeterminado o un reparto uniforme de la carga. Cuando la capacidad de carga del rodamiento individual es inadecuada, pueden montarse en tres disposiciones:

- a.- Disposición en tándem, en la que las líneas de carga son paralelas y las cargas radial y axial se dividen por igual entre los dos rodamientos, (fig. 1.6)
- b.- Disposición en "0", espalda con espalda, donde las líneas de carga divergen hacia el eje del rodamiento, (fig. 1.6)

c.- Disposición en "X", frente a frente, donde las líneas de carga convergen hacia el eje del rodamiento, (fig.1.6)

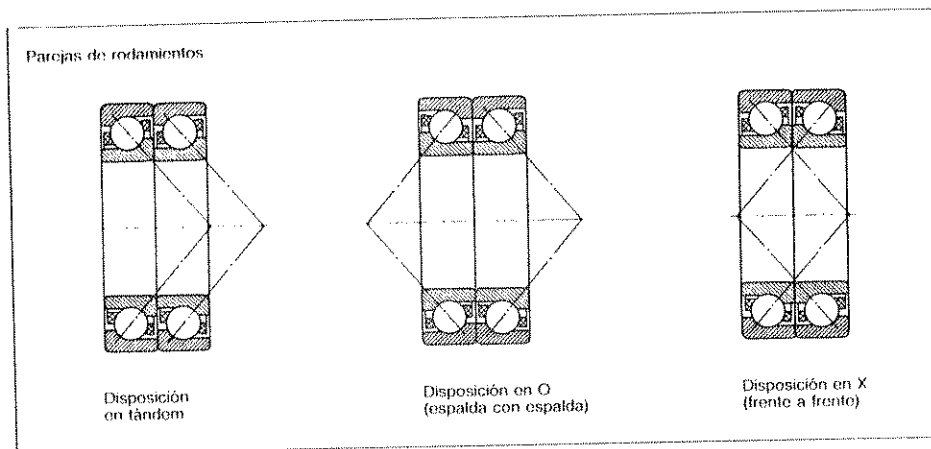


fig. 1.6

1.4 RODAMIENTOS DE RODILLOS CILINDRICOS

Los rodamientos de rodillos cilíndricos son apropiados para absorber cargas radiales y velocidades elevadas. Las series "NU" y "NN" tiene uno de sus anillos sin bordes, que permiten, dentro de ciertos límites, desplazamientos axiales entre los anillos interior y exterior, son especialmente apropiados como apoyos libres. La serie "NJ" posee un borde en el anillo interior, y puede por lo

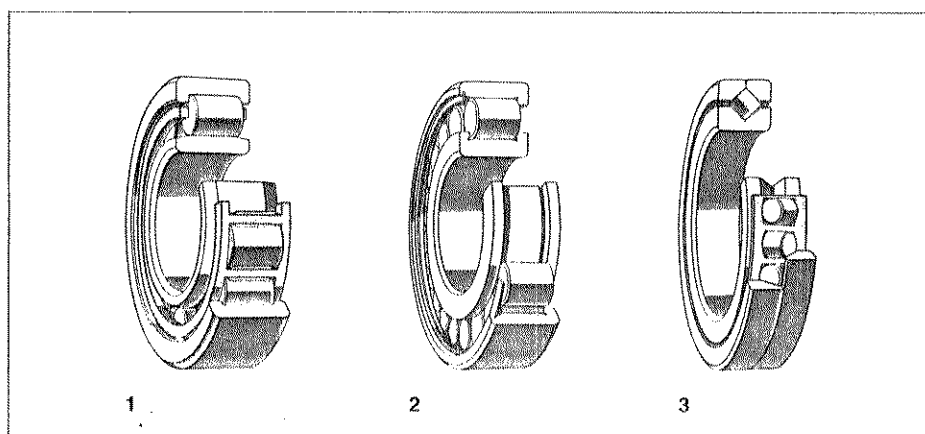


fig 1.7

tanto efectuar el guiado axial del eje en una dirección. La serie "NUP" tiene un borde fijo en un lado del anillo interior y, en el otro, un anillo suelto; este tipo de rodamientos son desmontables. Los anillos interior y exterior pueden ser montados y desmontados independientemente; ello supone una gran simplificación cuando, debido a las condiciones de carga, se exige un ajuste fijo para ambos anillos. (fig. 1.7)

1.5 RODAMIENTOS DE AGUJA

Los rodamientos de aguja son rodamientos de rodillos cilíndricos cuyos, que se caracterizan por ser finos y largos en relación a su diámetro, por lo que se les denomina "agujas". A pesar de la sección transversal tan pequeña de estos rodamientos, tienen una gran capacidad de carga y, por tanto, son particularmente adecuados para aquellas disposiciones en las que se dispone de un espacio radial limitado. Estos rodamientos con anillo interior se usan en aquellas disposiciones en las que resulte imposible o anti-económico el templeado y rectificado del eje. Existen también casquillos de agujas que son rodamientos de agujas con anillo exterior delgado de embutición profunda. Sus principales características son su pequeñísima sección transversal y su elevada capacidad de carga, (fig. 1.8).

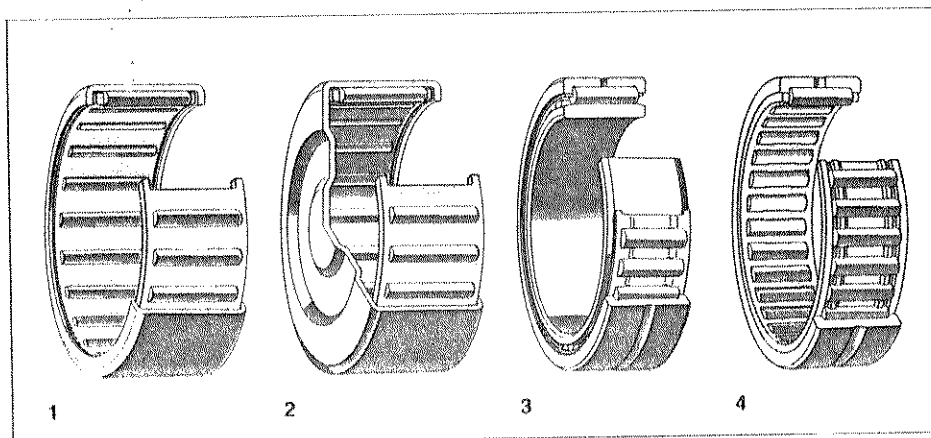


fig. 1.8

1.6

RODAMIENTOS DE RODILLOS A ROTULA

Los rodamientos de rodillos a rótula tiene la pista de rodadura del anillo exterior en forma de superficie esférica cóncava y dos pistas de rodadura separadas en el anillo interior, inclinadas con relación al eje del rodamiento, con borde de guiado común en éste anillo interior. Los anillos interior y exterior pueden oscilar angularmente, por lo que las desviaciones debidas a errores de alineación o a flexiones del eje bajo carga, pueden ser compensadas. Pueden absorber muy elevadas cargas radiales y por choque; por ello se emplean frecuentemente para trenes de laminar, accionamientos y machacadoras. Este tipo de rodamientos es poco apropiado para absorber cargas axiales puras, dado que la hilera descargada axialmente tiene tendencia a desviarse.

1.6.1 Rodamientos obturados

Para disposiciones de rodamientos que tengan que soportar grandes cargas y funcionar en condiciones muy difíciles, así como cuando se precisan obturaciones especialmente eficaces, pueden suministrarse también con obturaciones rozantes integrales en ambos lados, (fig. 1.9).

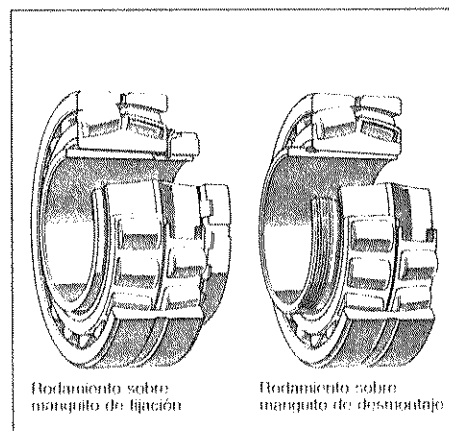


fig. 1.9

1.6.2 Rodamientos de rodillos a rótula para cribas vibratorias

Los fabricantes han desarrollado rodamientos especiales para cribas y otras aplicaciones vibratorias. Estos rodamientos se suministran en dos diseños diferentes que dependen del tamaño del rodamiento, que incorporan jaulas de chapa de acero de temple superficial, tipo ventana, que tienen una alta resistencia al desgaste.

1.7 RODAMIENTOS DE RODILLOS CÓNICOS

Estos rodamientos están contruidos de manera que las generatrices de las pistas de rodadura de los anillos interior y exterior, así como las de los rodillos cónicos, coinciden en un punto del eje del rodamiento. Gracias a ello, se obtiene un movimiento de rodadura pura de los rodillos sobre sus pistas. Estos rodamientos son especialmente apropiados para la absorción de cargas radiales y axiales en una sola dirección, así como de cargas combinadas. Poseen elevada capacidad carga y su capacidad de carga axial crece proporcionalmente con el ángulo de contacto. Dado que estos son desmontables, los anillos interior y exterior pueden ser montados y desmontados por separado, y ambos pueden ser montados con un ajuste fijo, (fig. 1.10).

1.7.1 Rodamientos de rodillos cónicos con diseños especiales

Para aquellas disposiciones de rodamientos que tiene que soportar grandes cargas axiales, tal como las disposiciones de rodamientos de piñón de ataque de los diferenciales de vehículos a motor, se fabrican rodamientos de rodillos cónicos con dos diseños especiales.

1.7.2 Rodamientos de una hilera de rodillos cónicos

Estos sólo pueden soportar cargas axiales que actúan

en un sentido. Bajo carga radial, se produce una fuerza axial en el rodamiento que debe ser contrarrestada. Por consiguiente, cuando se usan de este tipo, se acostumbra ajustar el rodamiento contra un segundo rodamiento de rodillos cónicos. (fig. 1.10)

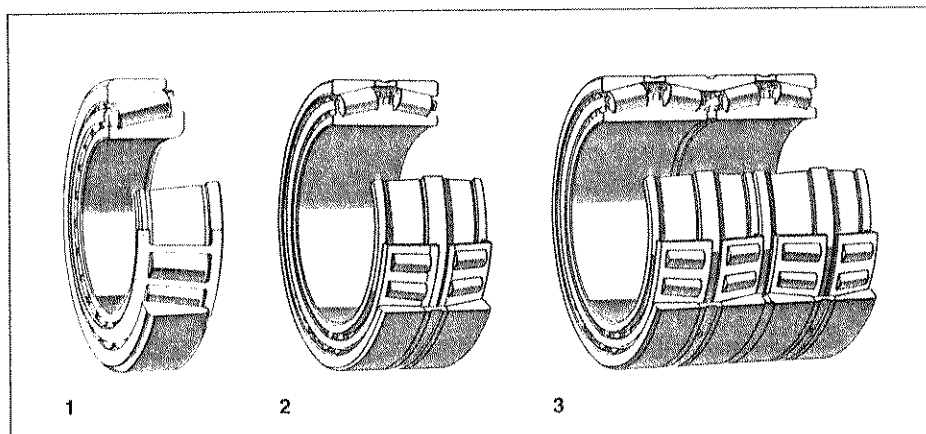


fig. 1.10

1.8 RODAMIENTOS AXIALES DE BOLAS

Estos rodamientos son adecuados para absorber cargas axiales y fijar el eje en un solo sentido; sin embargo, no pueden soportar cargas radiales. Consiste en una arandela de eje con camino de rodadura, un conjunto axial de bolas y jaula, y una arandela de alojamiento también con camino de rodadura; ésta arandela puede tener asiento plano o esférico, según se requiera, (fig. 1.11).

1.8.1 Rodamientos axiales de bolas de simple efecto

Este tipo de rodamientos consta de una corona axial a bolas, con jaula, que gira entre el disco eje y el disco alojamiento. Solo puede transmitir cargas axiales puras. Los discos de alojamiento pueden ser construidos con cargas de apoyo plana o esférica; sólo pueden absorber cargas axiales en una dirección y

no son apropiados para elevadas velocidades de giro, (fig. 1.11).

1.8.2 Rodamientos axiales de bola de doble efecto

Este tipo de rodamientos consta de coronas axiales a bolas, dos discos alojamiento y un disco eje en el centro. El disco eje tienen un camino de rodadura en cada lado y puede absorber cargas axiales en ambas direcciones, (fig. 1.11).

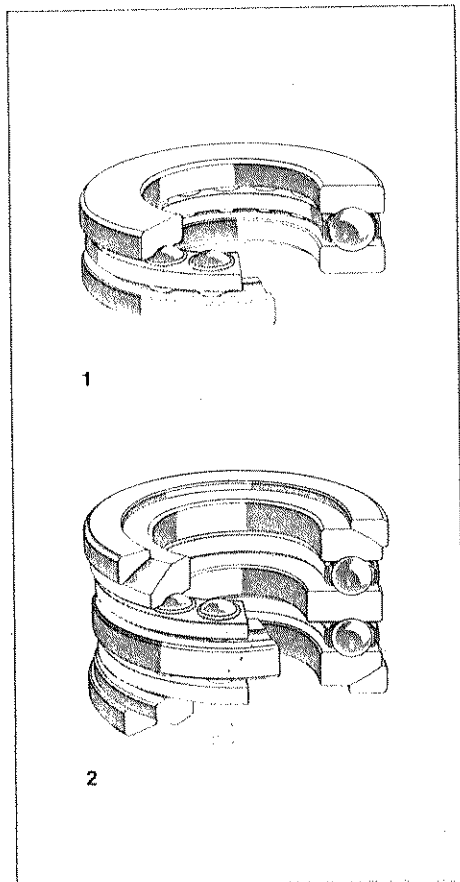


fig. 1.11

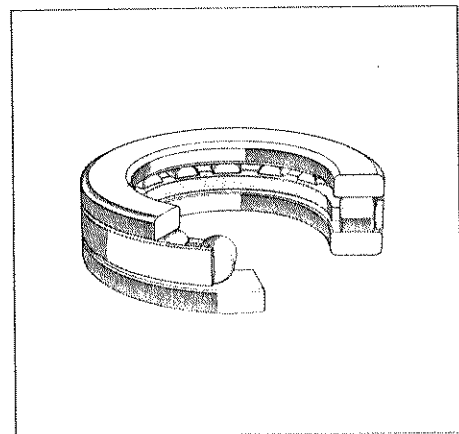


fig. 1.12

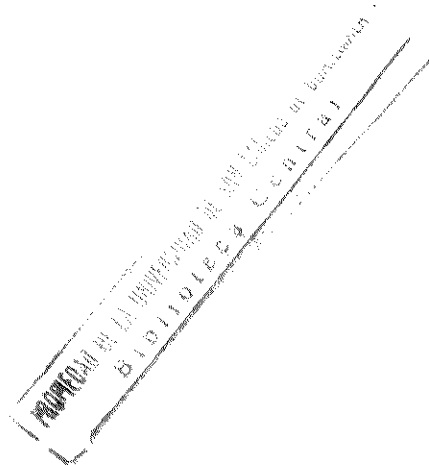
fig. 1.13

1.9 RODAMIENTOS AXIALES DE RODILLOS CILINDRICOS

Este tipo de rodamientos son adecuados para disposiciones que tengan que soportar grandes cargas axiales y en las que se requiere insensibilidad a las cargas de choque, rigidez y en un espacio axial mínimo. Son rodamientos de simple efecto y sólo pueden soportar carga axial en un sentido. Se emplean principalmente cuando la capacidad de carga de los rodamientos axiales de bolas es inadecuado. Son de diseño simple y, por lo general, se componen de una arandela de eje, una arandela de alojamiento y un conjunto de jaula y rodillos cilíndricos (corona axial de rodillos cilíndricos), (fig. 1.12)

1.10 RODAMIENTOS AXIALES DE RODILLOS A ROTULA

Este tipo de rodamiento corresponde en su construcción interna a un rodamiento radial de rodillos a rotula, con ángulo de presión especialmente grande. Los rodillos son guiados por un borde del disco del eje y gira sobre un camino de rodadura cóncavo-esférico del disco de alojamiento. Estos son de simple efecto y con movimiento angular, de manera que no le afectan las desviaciones y flexiones del eje con relación al alojamiento; se fabrican con jaulas macizas y sólo deben ser empleados con lubricación por aceite (fig. 1.13).



CAPITULO II

TRANSPORTADORES

Los transportadores son aparatos por gravedad o motorizados que se utilizan para mover cargas uniformes de modo continuo de un punto a otro, en una trayectoria fija. La función primaria de transportador es mover materiales cuando las cargas son uniformes y las trayectorias no varían.

2.1 CLASIFICACIÓN

2.1.1 Toboganes

Son el aparato de trayectoria fija más sencillo, en los cuales se utilizan la gravedad para mover materiales a granel o cargas unitarias en una pendiente.

2.1.2 Transportador de ruedas y rodillos

Dependen de la gravedad y la potencia aplicada para mover materiales; por lo general, estos transportadores son para movimiento horizontal de los materiales.

2.1.3 Transportadores motorizados

Están destinados al movimiento continuo de productos en superficies niveladas, en pendientes y curvas. Los de rodillos y banda son los de mayor empleo.

2.1.4 Transportador de superficies con cadenas

Los transportadores de superficie o superficiales con cadena incluyen los tipos de cadena corrediza, barras empujadoras, listones, de arrastre y trole de carros.

2.2

PARTES QUE COMPONEN UN TRANSPORTADOR

La eficiencia o deficiencia de una banda transportadora depende de la hábil selección de cinco elementos esenciales:

- a.- La banda, que forma la superficie de soporte y movimiento en la cuál el material transportado viaja
- b.- Los rodillos, son los que forman los soportes del ramal de transporte de la banda y el ramal plano de retorno
- c.- Los tambores de accionamiento, que soportan y dirigen la banda y controlan sus tensiones
- d.- El mecanismo de mando, imparte el poder a través de una o más impulsores para mover la banda y su carga
- e.- La estructura que soporta y mantiene alineado los ejes impulsores y mecanismos de mando, (fig. 2.1).

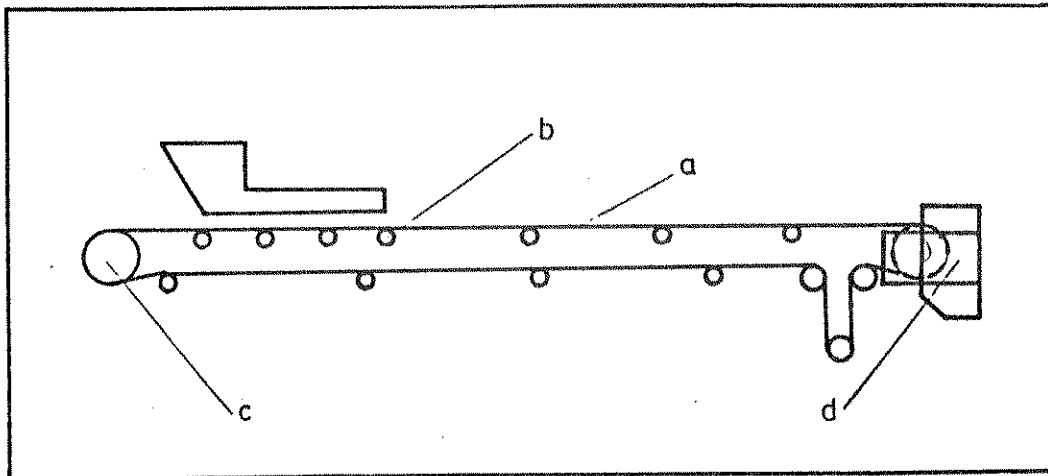


fig. 2.1

2.3

CONFIGURACIÓN MAS CORRIENTE DE TRANSPORTADORES DE BANDA

A continuación, las disposiciones típicas de transportadores para transporte de material a granel, (fig 2.2).

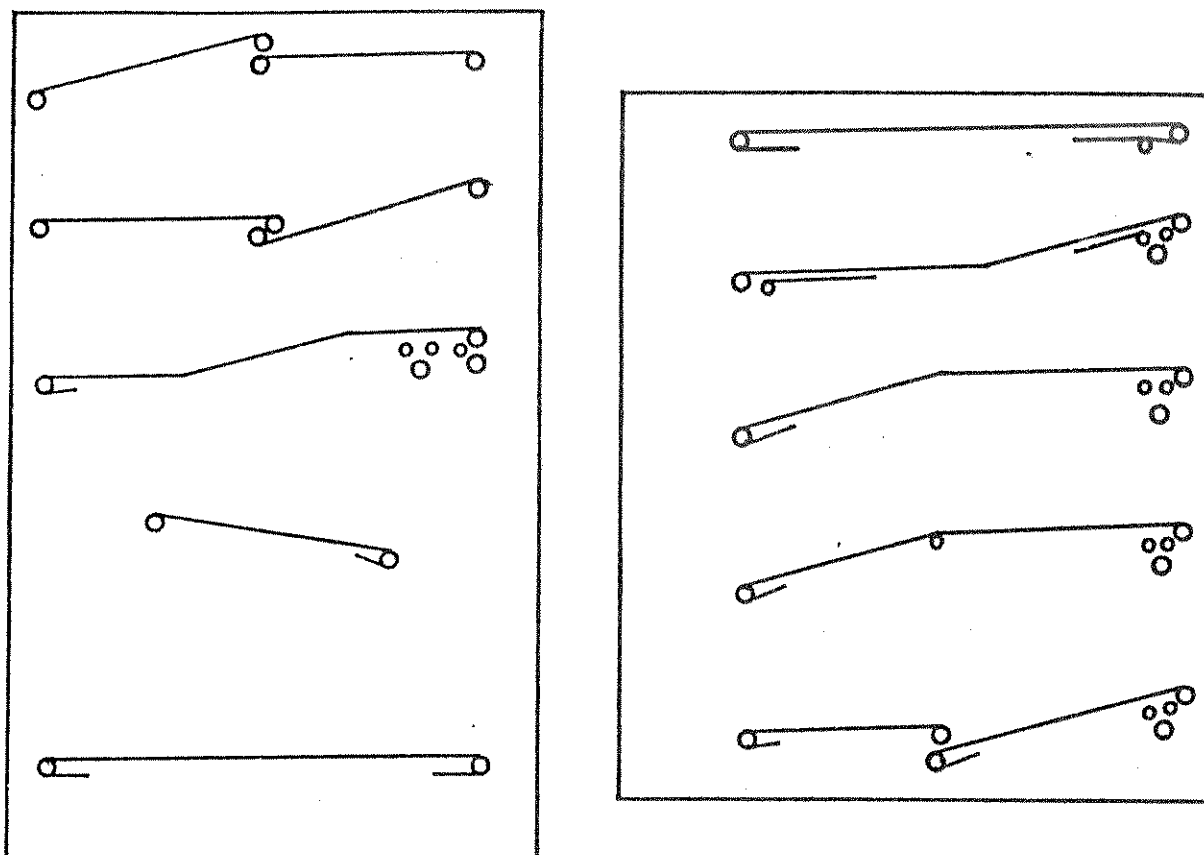


fig. 2.2

2.4 APLICACIÓN DE LOS TRANSPORTADORES

La banda transportadora es uno de los tipos de equipo más versátiles disponibles para el manejo de materiales. Está acondicionada para manejar una gran variedad de materiales sobre un amplio rango de capacidades. Provee un económico y práctico medio de transportar materiales (a granel o empacados), a través de grandes distancias y sobre terrenos que requieren un amplio rango de rutas de viajes.

Los sistemas de bandas transportadoras pueden ser acondicionados para transportar materiales, así como pesar, clasificar magnéticamente, sacar muestras y mezclar cuando sea necesario. Diseñadas apropiadamente, las bandas transportadoras podrán tener una operación duradera, confiable y a bajo costo.

2.5 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD

Ciertos materiales como carbón, coque y otras sustancias quebradizas, cuando son transferidas de un transportador a otro, sufren quebraduras y deterioros en el tamaño de los terrones. Otros materiales, como piezas grandes de metal, roca, escoria y otras sustancias abrasivas, cuando son transferidas de un transportador a otro, pueden causar severos daños a la banda. Consecuentemente, ciertas velocidades máximas son recomendadas por la industria para el manejo de varios tipos de materiales.

2.6 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA

En el cálculo de la potencia necesaria para mover una banda transportadora, se deben tener presente los siguientes esfuerzos de potencia:

- a.- Para vencer el rozamiento a la rotación de los rodillos en el tramo de carga o portante
- b.- Para vencer el rozamiento de los rodillos en el tramo de retorno
- c.- Para vencer el rozamiento en los rodillos de re-envío
- d.- Para vencer los esfuerzos de flexión de la banda en los arrollamientos sobre los tambores
- e.- La potencia necesaria para el transporte de material
- f.- Para imprimir velocidad al material en el punto de carga
- g.- Para la limpieza de la banda y el rozamiento del faldón
- h.- Para vencer la inclinación, en caso transporte de inclinado
- i.- Para mover los posibles descargadores

Los valores de los puntos a, e, y f están en función del material transportado; los valores b, c, d y g están siempre presentes aun con el transportador vacío, y los valores de los puntos h, e é i están sólo en el primero, en el caso del transporte inclinado y el segundo, en el caso de que exista un descargador.

La potencia del motor de accionamiento viene dada por la fórmula:

$$P = (F * V) / 102$$

y la potencia del motor

$$P_m = P / n_1 \eta_1$$

Puede variar el valor de n_1 de 0.55 a 0.95 según el tipo de grupo del motor utilizado. Es conveniente consultar este valor con el fabricante del motor.

Como orientación pueden tomarse como valores n_1 que representa el rendimiento cuna-banda deslizamiento.

- a.- Para banda que desliza sobre cuna de rodillos formando artesa, horizontales ó continúa 0.85
- b.- Para banda con accionamiento de rodillos libres 0.75

El valor de la potencia interesada total en el tambor de accionamiento también viene dada por la fórmula:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

2.7 DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN

La tensión desde el punto de vista de el trabajo de la banda es una cosa práctica, ya instalada la banda, se pone a trabajar el motor para verificar que la banda no deslice sobre el rodo conductor y el rodo conducido; debe observarse también que ésta no quede muy tensa, porque vendría a afectar el trabajo de el motor y como consecuencia el de los cojinetes mismos; por último, debe hacerse una prueba con carga o material para poder centrarla y ajustar la tensión; en éste punto, es importante la experiencia que pueda tenerse al respecto de los transportadores de banda.

CAPITULO III

SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

Una disposición de rodamientos no sólo se compone de determinado número de rodamientos, sino que también incluye los componentes asociados con ellos, (ejes, soportes, etc.,). El diseño de una disposición de rodamientos exige la selección de un tipo y tamaño adecuado del rodamiento, pero eso no basta. También hay que considerar otros aspectos, tales como: tipo y cantidad del lubricante, ajuste y juego interno apropiados, en forma adecuada de los demás componentes, obturaciones eficaces, etc. Cada decisión individual influirá en el rendimiento, la fiabilidad y la economía de la disposición de rodamientos.

3.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE RODAMIENTO

Cada tipo de rodamiento presenta propiedades características que dependen de su diseño y que lo hacen más o menos adecuado para una aplicación determinada. La selección del tipo de rodamiento se hace después que se ha establecido el concepto general del diseño de la máquina y se han estimado las magnitudes de las cargas y las velocidades. Las condiciones especiales, en las que se incluyen la temperatura ambiente o localizada, el choque o la vibración, la suciedad o la contaminación abrasiva, la dificultad para obtener la alineación exacta, las limitaciones de espacio, la necesidad de rigidez del árbol, etc, puede afectar directamente la operación del rodamiento y deben ser tomadas en cuenta.

La selección del tipo apropiado de rodamiento no es una ciencia exacta debido a la diversidad de factores que se ven involucrados. Como una ayuda para los diseñadores y para los usuarios sin experiencia, se bosquejan las semejanzas y diferencias de los rodamientos de bolas y rodillos, (ver tablas 3.1 y 3.2).

tabla 3.1

CLASES DE RODAMIENTO	PROPIEDADES DEL RODAMIENTO REFERIDAS A:							CONDICIONES DE MONTAJE				
	MAGNITUD Y DIRECCION DE LA CARGA	CARGA OSCILANTE	LIMITE DE VELOCIDAD	PRECISION DE GIRO	MARCHA SILENCIOSA MOMENTO DE GIRO REDUCIDO	RIGIDEZ	AUTO-ALINEACION	DESALINEACION	DES-MONTABLE	RODAMIENTO FIJO	RODAMIENTO LIBRE	RODAMIENTO CON AGLERO CONICO
RODAMIENTO RIGIDO A BOLAS	└	W	S	S	S			b	a	b		
RODAMIENTO RIGIDO A BOLAS con ranuras de llenado	└	G	W			G			a	b		
RODAMIENTO A BOLAS de contacto angular	└	W	G	G	G	G		b	a	b		
RODAMIENTO A BOLAS de contacto angular, en ejecucion de precision	└	N	S	S	S	G			a	b		
RODAMIENTO CON CUATRO PUNTOS DE CONTACTO	└	W	G	G					a			
RODAMIENTO A BOLAS de contacto angular, de dos hileros	└	G	W	W		G			a	b		
RODAMIENTO OSCILANTE A BOLAS	└	N	W	W			S	a	a	b		a
RODAMIENTO de rodillos cilindricos, serie NU y N	└	G	S	S	G	S				a		
RODAMIENTO de rodillos cilindricos, series NU y NF	└	G	S	S	G	S						
RODAMIENTO de rodillos cilindricos, series NP, NP y NH	└	G	S	S	G	S						
RODAMIENTO de rodillos cilindricos, de dos hileros	└	G	S	S	G	S				a		a
RODAMIENTO DE RODILLOS CÓNICOS	└	G	G	G	S	S			a	b		
RODAMIENTO de dos hileros de rodillos cónicos	└	S	W	G	G	S			a	b		
RODAMIENTO OSCILANTE DE RODILLOS	└	S	W	W		S	S	a	a	b		a

NOTAS: S = MUY APROPIADO, G = APROPIADO, W = POCO APROPIADO, N = NO APROPIADO, a = POSIBLE, b = POSIBLE CON AJUSTE, LIBRE

CLASE DE RODAMIENTO	PROPIEDADES DEL RODAMIENTO REFERIDAS A:						CONDICIONES DE MONTAJE					
	MAGNITUD Y DIRECCION DE LA CARGA	CARGA OSCILANTE	LIMITE DE VELOCIDAD	PRECISION DE GIRO	MARCHA SILENCIOSA, MOMENTO DE GIRO REDUCIDO	RIGIDEZ	AUTO-ALINEACION	DES-ALINEACION	DES-MONTABLE	RODAMIENTO FIJO	RODAMIENTO LIBRE	RODAMIENTO CON ABGUERO CONICO
Rodamiento axial a bolas de simple efecto con disco alojamiento plano		W	N	G	G	G			o			
Rodamiento axial a bolas de simple efecto con disco alojamiento esférico y contraplaca		W	N		G		S	o	o			
Rodamiento axial a bolas de doble efecto con disco alojamiento plano		W	N	G	G				o	o		
Rodamiento axial a bolas de doble efecto con disco alojamiento esférico y contraplaca		W	N		G		S	o	o	o		
Rodamiento axial a bolas de contacto angular, de doble efecto.		W	S	S	S	G			o	o		
Rodamiento axial oscilante de rodillos		S	W			S	S	o	o			

NOTAS:

S = MUY APROPIADO, G = APROPIADO, W = POCO APROPIADO, N = NO APROPIADO, o = POSIBLE

tabla 3.2

3.1.1 Espacio disponible

Hay muchos casos en que al menos una de las dimensiones principales del rodamiento, generalmente el diámetro del agujero, viene determinada por las características de diseño de la máquina a la que va destinado o la limitante de montaje.

Cuando el espacio radial disponible es limitado, debe seleccionarse rodamientos de pequeña sección, particularmente los de baja altura de sección. Cabe mencionar, en especial, las coronas de agujas, los casquillos de agujas y los rodamientos de agujas con (o sin) anillo interior entre otros.

Cuando la limitación de espacio es en sentido axial, para cargas radiales y combinadas, puede usarse alguna serie de rodamientos de una hilera de rodillos cilíndricos y de rodamientos rígidos de bolas, entre otros, que deben estar de acuerdo a la aplicación y a las limitantes.

3.1.2 Desalineación

Las desalineaciones angulares entre el eje y el soporte pueden ser originadas, por ejemplo, por flexión del eje bajo la carga de funcionamiento, cuando los asientos del rodamiento en el soporte no han sido mecanizados en una sola operación, o cuando los ejes están soportados por rodamientos montados en soportes separados y a gran distancia entre sí.

Los llamados rodamientos rígidos no pueden compensar desalineación alguna, pues su capacidad para absorber desalineaciones, sin que aparezcan sobrecargas, es muy pequeña. Para este tipo de inconvenientes, se han diseñado los rodamientos autoalineables o a rótula, los cuales son adecuados para absorber las desalineaciones originadas bajo las cargas de funcionamiento y también los errores de alineación resultantes del mecanizado o montaje.

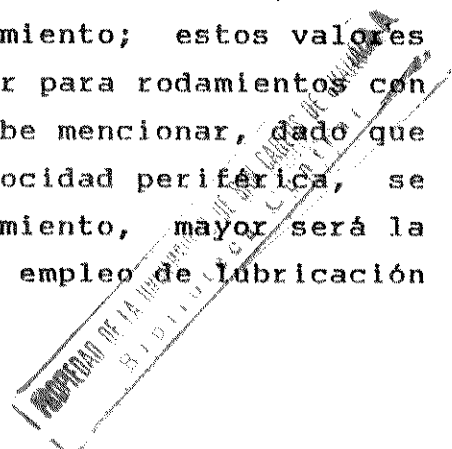
3.1.3 Precisión

Se requieren rodamientos de un grado de precisión mayor que el normal para aquellas disposiciones que deben funcionar con rigurosas exigencias de exactitud, por ejemplo, las disposiciones de rodamientos de los husillos de máquinas-herramienta, así como en la mayoría de los casos que precisan de velocidades de funcionamiento muy elevadas. Consúltese el catálogo del fabricante para tales requerimientos de servicio.

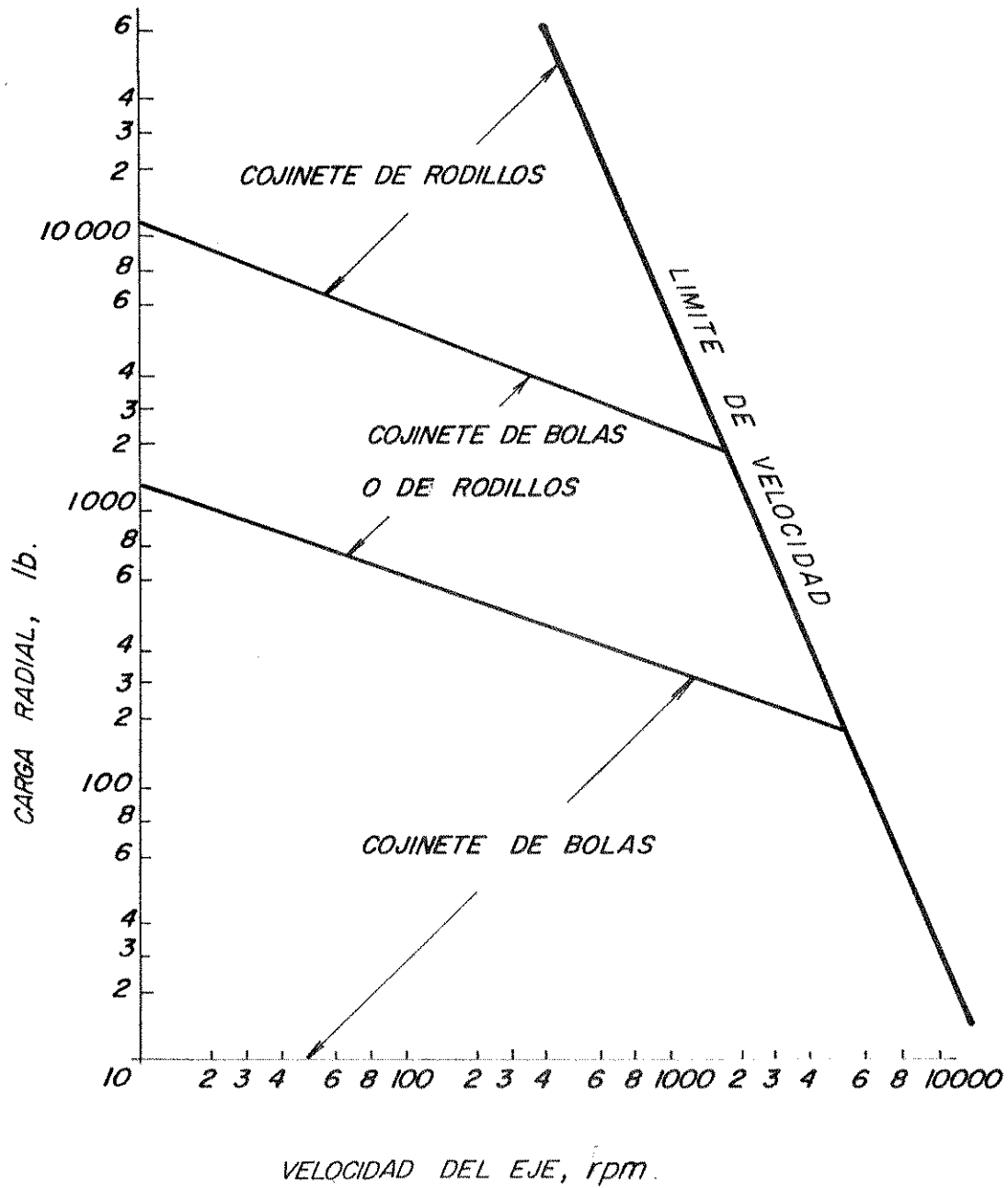
3.1.4 Velocidad

La velocidad a que puede funcionar un rodamiento tiene un límite, el cual es impuesto por la temperatura de funcionamiento que puede permitir el lubricante empleado o al material de que están hechos los componentes del tipo de rodamiento, así como de su diseño en general. La velocidad a la cual el rodamiento alcanza esta temperatura depende del calor generado por el rozamiento en el rodamiento (incluyendo también cualquier aportación de calor desde el exterior), y de la cantidad de calor que pueda ser disipada desde el rodamiento.

Pueden revisarse, en forma conveniente, los límites de velocidad a partir de un valor dn ; estos valores están listados en la tabla 3.3, y están dados en función de la velocidad el tamaño y el tipo de lubricación; por otro lado, la gráfica 3.1 presenta tales valores en función de la carga y la velocidad del eje, cuando éstos se exceden, se acorta la vida del rodamiento; estos valores son sólo una guía aproximada y pueden exceder para rodamientos con aplicaciones especiales y de lubricación. Cabe mencionar, dado que las pérdidas son proporcionales a la velocidad periférica, se concluye que cuanto más pequeño sea el rodamiento, mayor será la velocidad a la que pueda operar, así como el empleo de lubricación por aceite circulante o neblina.



GUIA PARA LA SELECCION DE COJINETE DE BOLAS O DE RODILLOS



Valores de dn contra tipos de rodamientos

Tipo de rodamiento	series	máximo valor dn	
		grasa	aceite
Una hilera de bolas	100, 200, 300 400, 30, pulg.	200000	300000
Doble hilera de bolas	200, 300	160000	220000
Rodillo cilíndrico	200, 300	150000	200000
Rodillo esférico	22200	120000	170000

Tabla 3.3

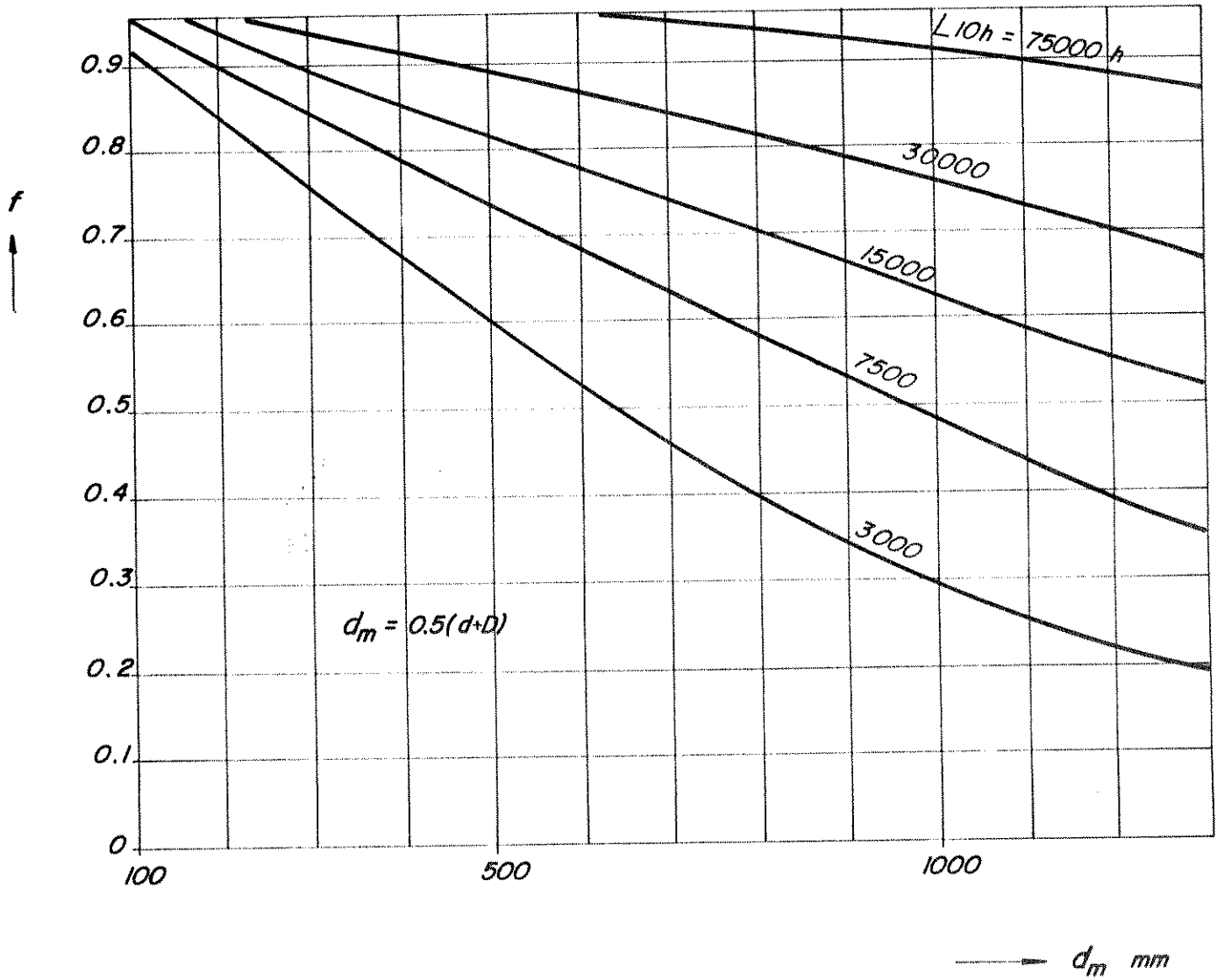
3.1.4.1 Velocidades nominales

Las tablas de rodamientos indican los diferentes valores de las velocidades nominales correspondientes a lubricación con grasa y aceite. La velocidad nominal de un rodamiento es la velocidad a la que, bajo una carga correspondiente a una vida L_{10h} de 150000 horas, se alcanza un equilibrio entre el calor disipado por el eje y el alojamiento y, a veces, por el calor generado por fricción en el rodamiento, para un intervalo dado de temperatura de funcionamiento por encima de la temperatura ambiente. Las velocidades nominales son válidas para aquellos rodamientos en los que el anillo interior gira. Para rodamientos en que el anillo exterior gira, es posible que sea preciso reducir un poco la velocidad nominal.

Los valores del factor de reducción f para las velocidades nominales pueden ser hallados en la gráfica 3.2, en función del diámetro medio del rodamiento d_m , y de L_{10h} . En aquellos casos en que la temperatura pueda mantenerse sin cambios, la máxima velocidad permitida puede calcularse por la fórmula:

$$n_{pura} = f \cdot n_r$$

Valores de reducción f para velocidad
en rodamientos



gráfica 3.2

Donde:

$n_{p, \text{max}}$ = máxima velocidad de giro permitida, en rpm

n_r = velocidad nominal, en rpm

f = factor de reducción

3.1.4.2 Velocidades superiores a la velocidad nominal

Un rodamiento puede funcionar a una velocidad superior a la velocidad nominal indicada en las tablas de rodamientos, siempre que el rozamiento en el rodamiento pueda reducirse mediante una lubricación adecuada, que involucre la disminución de el calor generado en el rodamiento, así como de un sistema adecuado de refrigeración o enfriamiento. Un aumento en la temperatura del rodamiento significa una reducción de la viscosidad del lubricante que hace más difícil la formación de la película del lubricante, lo cual conduce a un mayor rozamiento y mayores incrementos de temperatura. Si al mismo tiempo se reduce el juego interno de funcionamiento del rodamiento, debido al aumento de temperatura del anillo interior, la consecuencia final será el agarrotamiento del rodamiento.

La experiencia obtenida en la práctica ha indicado que hay velocidades máximas que no se deben rebasar, tanto por razones técnicas como por los costos tan elevados que las mismas implican. Los incrementos máximos posibles de velocidad para los diferentes tipos de rodamientos deberán de ser solicitados al fabricante.

3.1.4.3 Casos especiales

En algunas aplicaciones, hay otros factores que son más importantes que la velocidad nominal, tales como:

3.1.4.4 Bajas velocidades

A velocidades muy lentas, se hace imposible la formación de una película elastohidrodinámica de lubricante en los contactos entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura. En este tipo de aplicaciones, generalmente se deben utilizar lubricantes con aditivos EP.

3.1.4.5 Movimientos de rotación oscilantes

En este tipo de movimiento, la rotación cambia de sentido antes de que el rodamiento haya terminado de dar una vuelta completa. Dado que la velocidad de rotación en el punto en que se invierte la dirección de giro es nula, se hace imposible el mantenimiento de una película hidrodinámica completa de lubricante. En estos casos, es importante el uso de un lubricante que contenga aditivos EP al objeto de conseguir una lubricación de capa límite capaz de soportar las cargas. Con cada inversión de la dirección de rotación, se corre el riesgo que debido a la inercia, los elementos rodantes se deslicen durante un breve lapso de tiempo y dañen los caminos de rodadura, por el desgaste en los mismos.

3.1.4.6 Condiciones estacionarias

Cuando un rodamiento se ve sometido a vibraciones provocadas por fuerzas externas aplicadas, mientras permanecen sin funcionar durante largos periodos de tiempo, los pequeñísimos movimientos que se producen en los contactos entre los elementos rodantes, y los caminos de rodadura, ocasionan daños en las superficies de contacto que se ponen de manifiesto por un pronunciado aumento del ruido del rodamiento al ponerlo de nuevo en funcionamiento. Esto puede dar lugar a un fallo en el rodamiento por fatiga prematura que podría evitarse, por ejemplo, aislando la posición del rodamiento de vibraciones externas, disminuyendo la carga por un medio adecuado durante el transporte o haciendo que gire a baja velocidad.

3.1.5 Rigidez

La rigidez de un rodamiento se caracteriza por la magnitud de deformación elástica del rodamiento cargado. En la mayoría de los casos, esta deformación es muy pequeña y puede despreciarse. En muy pocos casos, por ejemplo, en husillos de máquinas-herramienta, o en transmisiones de engranajes cónicos, la rigidez es un factor importante. Debido a las condiciones de contacto entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura, los rodamientos de rodillos cilíndricos o los rodillos cónicos, son más rígidos que los rodamientos de bolas.

3.1.6 Desplazamiento axial

Un eje u otro elemento de máquina va normalmente soportado sobre un rodamiento fijo y uno libre. El fijo proporciona un enclavamiento axial en ambos sentidos al elemento de máquina. Los más adecuados para este fin son los que absorben cargas combinadas, o los que pueden proporcionar fijación axial en combinación con un segundo rodamiento. Los rodamientos libres deben permitir los desplazamientos axiales para que no sufran esfuerzos adicionales como resultado, por ejemplo, de la dilatación térmica del eje.

Entre los rodamientos más adecuados, figuran los rodamientos de agujas y los de rodillos cilíndricos con uno de los anillos sin pestañas. Los valores para el desplazamiento axial permisible figuran en las tablas de rodamientos; en caso de que se utilicen rodamientos no desarmables como libres, uno de los anillos del rodamiento se debe montar con ajuste holgado.

3.2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO

3.2.1 Teoría sobre la vida de los rodamientos

Los cálculos empíricos y los datos experimentales apuntan hacia una relación predecible entre la carga y la vida del rodamiento, que es inversamente proporcional a la carga aplicada.

Es entonces esencial conocer la capacidad para soportar carga y la duración esperada para seleccionar en forma apropiada el tipo de rodamiento. Los rodamientos que están sujetos a millones de esfuerzos fallan debido a la fatiga; de hecho es la única causa de la falla, si el rodamiento ha sido adecuadamente seleccionado a las condiciones de trabajo. Por esto, la vida de un rodamiento individual está definida como el número total de revoluciones o de horas con una velocidad constante especificada con la que el rodamiento trabaja, antes de que se revele la primera evidencia de fatiga.

3.2.2 Capacidad de carga

La capacidad de carga es una función de muchos parámetros, como el número de bolas, el diámetro de la bola y el ángulo de contacto. Dos capacidades de carga están asociadas con un cojinete de contacto rodante: la capacidad de carga **dinámica** y la capacidad de carga **estática**; la tabla 3.4 nos da las capacidades aproximadas de carga versus tipo y tamaño de rodamiento; en todo caso, consúltese el catálogo del fabricante según sea la aplicación.

tabla 3.4

Diámetro interior de cojinete, mm	Serie 200		Serie 300		Serie 200		Serie 300		de rodillos cilíndricos		de rodillos esféricos	
	C.	C.	C.	C.	C.	C.	C.	C.	C.	C.	C.	C.
10	600	1 040	850	1 430	800	1 210	1 020	1 960				
12	680	1 180	1 040	1 650	1 250	1 820	1 350	2 540				
15	780	1 330	1 220	1 970	1 430	2 030	1 520	2 820				
17	1 000	1 660	1 470	2 340	1 840	2 510	2 070	3 700				
20	1 390	2 220	1 760	2 730	2 540	3 480	2 560	4 490				
25	1 560	2 420	2 350	3 550	2 858	3 780	3 720	6 360				
30	2 250	3 360	3 120	4 600	4 110	5 140	5 070	8 460				
35	3 070	4 430	4 020	5 770	5 600	6 700	6 400	10 400				
40	3 520	5 040	5 020	7 060	6 430	7 680	7 930	12 500	11 800		15 200	
45	4 000	5 660	6 130	8 430	7 320	8 620	9 310	14 700	12 600		15 900	
50	4 450	6 070	6 010	10 750	8 130	9 220	11 600	17 900	13 600		16 800	
55	5 630	7 500	9 400	12 410	10 300	11 400	12 600	19 100	16 500		20 300	
60	6 950	9 070	10 302	14 173	12 700	13 800	15 200	22 800	20 800		25 200	
65	7 660	9 900	12 516	16 051	14 000	15 000	19 900	29 000	25 500		30 200	
70	8 410	10 714	14 240	18 030	15 400	16 300	21 400	30 800	27 500		31 900	
75	9 190	11 610	16 080	19 600	16 900	17 300	23 200	32 900	29 100		33 100	
80	10 010	12 550	18 020	21 230	18 300	19 100	27 000	38 100	32 100		36 800	
85	11 750	14 490	20 080	22 880	19 500	19 700	30 900	43 300	38 200		43 200	
90	13 630	16 540	22 250	24 580	22 100	22 600	35 200	48 800	44 500		49 800	
95	15 650	18 740	24 530	26 300	28 600	28 600	39 500	54 200	48 800		54 700	
100	17 000	21 130	29 420	29 940	32 500	32 100	44 700	60 800	55 700		61 900	
110	20 100	23 000	32 040	31 800	30 500	30 700	53 200	70 500	72 000		78 400	

С. С. У
в д к л о р ф а б р и к е
д о к т о р а в е н а
е р а с т р о в о в

3.2.2.1 Carga estática

La capacidad de carga estática básica para los diferentes tipos de rodamientos se designa como C_0 . Es la carga que corresponde a una deformación permanente total del elemento rodante y del anillo, según la norma ISO 76-1987, y que depende del material del rodamiento, del número de elementos por hilera, del ángulo de contacto y del diámetro de las bolas o rodillos, en el punto de contacto de máximo esfuerzo, de 0.0001 del diámetro del elemento rodante. Nunca se debe usar para calcular la duración del rodamiento. Los valores de C_0 están dados en la tabla 3.4.

3.2.2.2 Carga dinámica

La capacidad de carga básica o dinámica para los diferentes tipos rodamientos viene designada por C , y es la carga radial que puede resistir un elemento rodante por un millón de revoluciones del anillo interior. El valor de C depende de los mismos factores que determinan a C_0 . Esta capacidad se usa siempre para determinar la duración del rodamiento para todas las condiciones de velocidad y carga, (véase ecuación de la vida nominal); sus valores están dados en la tabla 3.4.

3.2.2.3 Carga equivalente

La carga equivalente es la carga radial constante y estacionaria, la cual es aplicada al rodamiento con el anillo interior girando y el anillo exterior fijo o viceversa. En muchas de las aplicaciones de rodamientos, la carga tiene componentes axial y radial. Será entonces necesario expresar esas condiciones por una carga equivalente que satisfaga lo anteriormente expuesto, por la fórmula siguiente:

$$P = XVF_r + YF_a$$

donde:

P = Carga equivalente, lb

F_r = Carga Radial, lb

F_a = Carga de empuje (axial), lb

V = Factor de rotación: 1.0 para anillo interior girando,
1.2 para anillo exterior girando, para rodamientos a
rótula utilícese 1 en ambos casos

X = Factor de carga radial, (véase tabla 3.5).

Y = Factor de carga axial, (véase tabla 3.5).

Tipo de rodamiento	Valores			
	X_1	Y_1	X_2	Y_2
Una hilera de bolas	1,00	0,00	0,56	1,40
Doble hilera de bolas	1,00	0,75	0,63	1,25
Rodillo cilíndrico	1,00	2,50	0,67	3,70
Rodillo esférico	1,00	0,00	1,00	0,00

Tabla 3.5

Del juego de valores dado en la tabla, el que da el mayor valor de carga equivalente, debe usarse siempre.

3.2.2.4 Carga estática equivalente

Las cargas que tienen componente axial y radial deben ser convertidas en una carga estática equivalente. Esta se define como la carga, que si se aplicase, produciría la misma deformación permanente en el rodamiento que las cargas reales. Se obtiene por medio de la ecuación general:

$$P_e = X_r F_r + Y_a F_a$$

donde:

P_e = Carga estática equivalente, en N

F_r = Carga radial real, en N

F_a = Carga axial real, en N

X_r = Factor de carga radial, véase tabla 3.6

Y_a = Factor de carga axial, véase tabla 3.6

Tipo de rodamiento	Valores	
	X_r	Y_a
Una hilera de bolas	0,60	0,50
Doble hilera de bolas	0,60	0,50
Rodillo cilíndrico	1,00	0,00
Rodillo esférico serie 22 200	1,00	2,90

Tabla 3.6

3.2.3 Capacidad de vida

La vida de un rodamiento se expresa como el número de revoluciones o el número de horas, a una velocidad dada, durante las cuales el rodamiento operará antes de desarrollar alguna evidencia de fatiga sobre los elementos rodantes o los caminos de rodadura. Sin embargo, los ensayos de laboratorio y la experiencia obtenida en la práctica ha puesto de manifiesto que rodamientos aparentemente idénticos, que funcionan con idénticas condiciones, tienen vidas diferentes.

Aplicación L10	Vida de diseño, h L10	Aplicación	Vida de diseño, h,
Equipo de agricultura	3 000-6 000	Aparatos domésticos	1 000-2 000
Motores de aviación	1 000-3 000	Motores eléctricos:	
Motores de aviación a reacción	1 500-4 000	Domésticos	1 000-2 000
Automotriz:		Industriales	20 000-30 000
Autobús, coche	2 000-5 000	Elevador	8 000-15 000
Camiones	1 500-2 500	Ventiladores	
Ventiladores:	20 000-30 000	Industriales	8 000-15 000
Servicio continuo, 8 h	20 000-40 000	Ventilación de minas	40 000-50 000
Servicio continuo, 24 h	40 000-60 000	Unidades de engranaje	8 000-15 000
Servicio continuo, 24 h (se-	100 000-20 0000	(servicio múltiple)	
guridad extremada)		Servicio intermitente	8 000-15 000
Compresores	40 000-60 000	Máquinas para papel	50 000-60 000
Transportadores	20 000-40 000	Bombas	40 000-60 000

Valores para vida nominal L_{10}

Tabla 3.7

3.2.3.1 Vida nominal

La vida nominal de un grupo de rodamientos de bolas o rodillos, axiales o radiales, es definida como el número de revoluciones (u horas a alguna velocidad constante conocida) que efectúen o completen el 90% de un grupo de rodamientos aparentemente idénticos antes de que se desarrolle la primera la evidencia de fatiga. La vida nominal se le designa como vida L_{10} o **B-10**; se ha determinado que la vida media de este mismo grupo de rodamientos se completa o excede en 5 veces la vida nominal (es decir, **vida media=5 L_{10}**).

Para determinar el tamaño de un rodamiento, los cálculos normalmente se realizan con base en la vida nominal, L_{10} , del rodamiento, por lo cual es esencial conocer la vida nominal requerida para el rodamiento en la aplicación considerada. Tal vida depende generalmente del tipo de máquina y de las exigencias

en lo referente a la vida de servicio y a fiabilidad, la tabla 3.7 proporciona tales valores.

3.2.4 Selección del tamaño del rodamiento utilizando la fórmula de vida

El método más simple para calcular la duración de un rodamiento consiste en la aplicación de la fórmula ISO de la vida nominal, es decir:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^k \quad \text{ó} \quad L_{10h} = \frac{16,700}{N} \left(\frac{C}{P}\right)^k$$

donde:

L_{10} = Vida nominal, en millones de revoluciones

C = Capacidad de carga dinámica, en N

P = Carga dinámica equivalente, en N

k = Exponente de la fórmula de vida

$k = 3$ para rodamientos de bolas

$k = 10/3$ para rodamientos de rodillos

L_{10h} = Vida nominal, en horas de servicio

N = Velocidad de giro, en revoluciones por minuto

Para rodamientos que funcionan a velocidad constante, es más conveniente expresar la duración nominal en horas de servicio, L_{10h} .

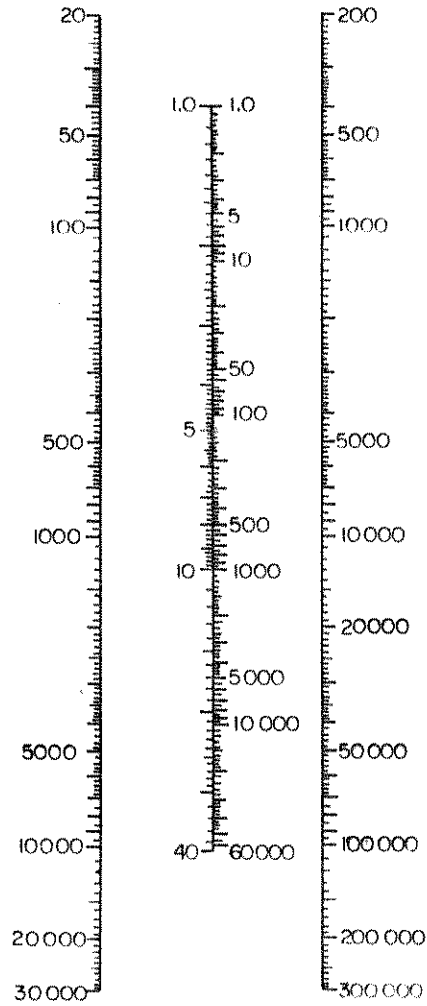
En la gráfica 3.3, se pueden encontrar los valores de seguridad de carga C/P en función de la duración L_{10} y de L_{10h} , juntamente con la velocidad de giro N .

A temperaturas elevadas, se reduce la capacidad de carga dinámica del rodamiento. La disminución de la capacidad de carga dinámica para las diferentes temperaturas; se tiene en cuenta multiplicando la capacidad de carga dinámica C por un factor de temperatura que se obtiene de la tabla 3.8:

CALCULO DE LA VIDA

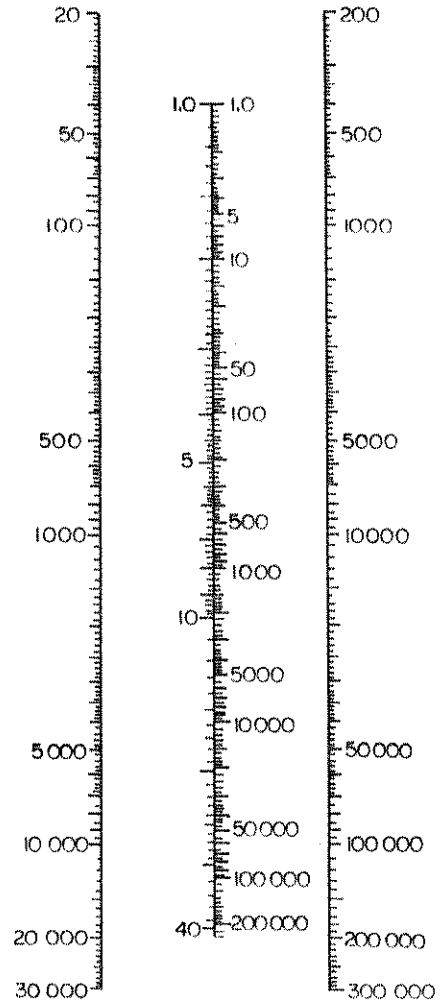
RODAMIENTOS DE BOLAS

n r/min C/P L_{10} millones de revoluciones. L_{10h} horas de servicio.



RODAMIENTOS DE RODILLOS

n r/min C/P L_{10} millones de revoluciones. L_{10h} horas de servicio.



Temperatura del rodamiento °C	150	200	250	300
Factor por temperatura	1,00	0,90	0,75	0,60

Tabla 3.8

3.2.5 Fórmula de la vida nominal ajustada

En la fórmula de la vida, mencionada anteriormente:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^3$$

Se considera la influencia que tiene la carga aplicada al rodamiento en la duración de éste; el valor de C deberá ser el correspondiente al tipo de lubricación utilizado. No obstante puede ser conveniente considerar con más detalle la influencia de otros factores en la duración del rodamiento. Para este fin, ISO introdujo en 1977 la siguiente fórmula de la vida nominal ajustada:

$$L_{10n} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^3$$

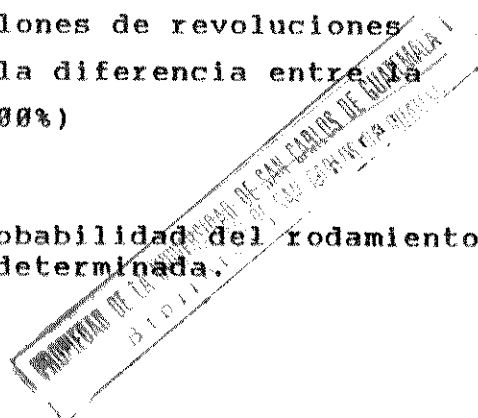
o simplemente:

$$L_{10n} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_{10}$$

Donde:

L_{10n} = Vida nominal ajustada, en millones de revoluciones
 (El sub-índice n representa la diferencia entre la fiabilidad¹ requerida y el 100%)

¹ Por fiabilidad se entiende la probabilidad del rodamiento para alcanzar o sobrepasar una duración determinada.

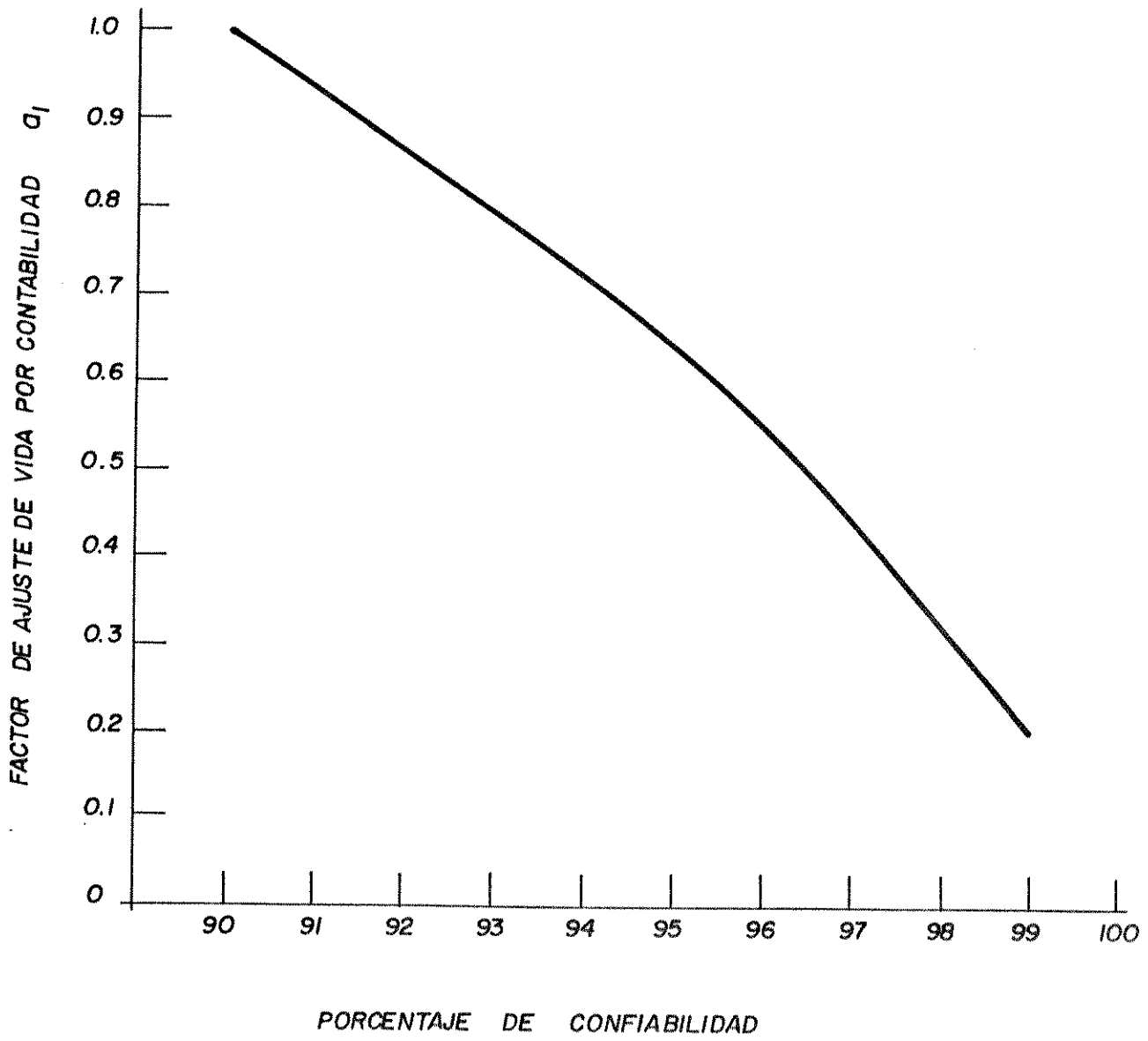


- a_1 = Factor de ajuste de vida, o fiabilidad
- a_2 = Factor de ajuste de vida, por material
- a_3 = Factor de ajuste de vida, por condiciones de funcionamiento

Un cálculo de la vida nominal ajustada presupone que las condiciones de funcionamiento están bien definidas y que las cargas sobre los rodamientos pueden ser calculadas con exactitud, es decir, el cálculo debe considerar el espectro de carga, flexión del eje, etc. Para la fiabilidad del 90% generalmente aceptada, para los materiales a los que corresponde el valor C , y en condiciones de funcionamiento normales, tenemos $a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 = 1$, con lo cual la fórmula de la duración nominal básica y la de la duración nominal ajustada son idénticas.

3.2.5.I Factor de ajuste por confiabilidad, a_1

Se usa el factor a_1 por confiabilidad para determinar otras vidas diferentes a la vida L_{10} , es decir, vidas que son alcanzadas o sobrepasadas con una probabilidad mayor del 90%. La **AFBMA** ha reconocido dicha necesidad y publicó tales datos en su último estándar; para determinar tales datos úsese la gráfica 3.4, tanto para rodamientos de bola como de rodillos.



RELACIONES DEL FACTOR DE AJUSTE DE VIDA,
 a_1 .

3.2.5.2 Factor de ajuste por material, a_2

El factor de ajuste por material a_2 , dado según los estándares de la **AFBMA** que están basados en la utilización de material acero **AISI-52100** fundido al aire con una dureza Rockwell mínima de 58 C, y, con aceros **CDV** y **CVM**, que han dado como resultado aumentar de 3-8 veces el valor de L_{10} , la **AFBMA**, ha reconocido esta mejoría en la vida de los rodamientos, pero considera a todos estos aceros mejorados como una categoría especial y, por tanto, se sugiere que el diseñador obtenga del fabricante los factores de a_2 de ajuste por materiales

3.2.5.3 Factor de ajuste según condiciones de aplicación, a_3

El factor a_3 de las condiciones de funcionamiento, viene determinado por:

- 1.- La lubricación
- 2.- Distribución de la carga, y
- 3.- La temperatura

El factor de vida determinado por (2) y (3) deberán obtenerse del fabricante. Se recomienda un factor $a_3=1$ cuando la lubricación es adecuada. Sin embargo, a_3 definitivamente deberá ser menor que 1 cuando prevalezca cualquiera de las siguientes condiciones:

- 1.- Valores excepcionalmente bajos de nd_m , ($nd_m < 100000$) aplicable a todo tipo de rodamientos.
- 2.- Viscosidad del lubricante menor que 70 SUS (100 SUS para rodamientos de rodillos) a la temperatura de operación.
- 3.- Temperatura de operación excesivamente alta.

Si para un caso particular, se tiene cualquiera de estas condiciones, el diseñador deberá obtener del fabricante un valor apropiado de a_3 , antes de hacer la selección final.

3.2.5.4 Aplicación de los factores de ajuste de vida

Como vimos anteriormente en la sección 3.2.4, la ecuación de ajuste de vida por fatiga puede expresarse como:

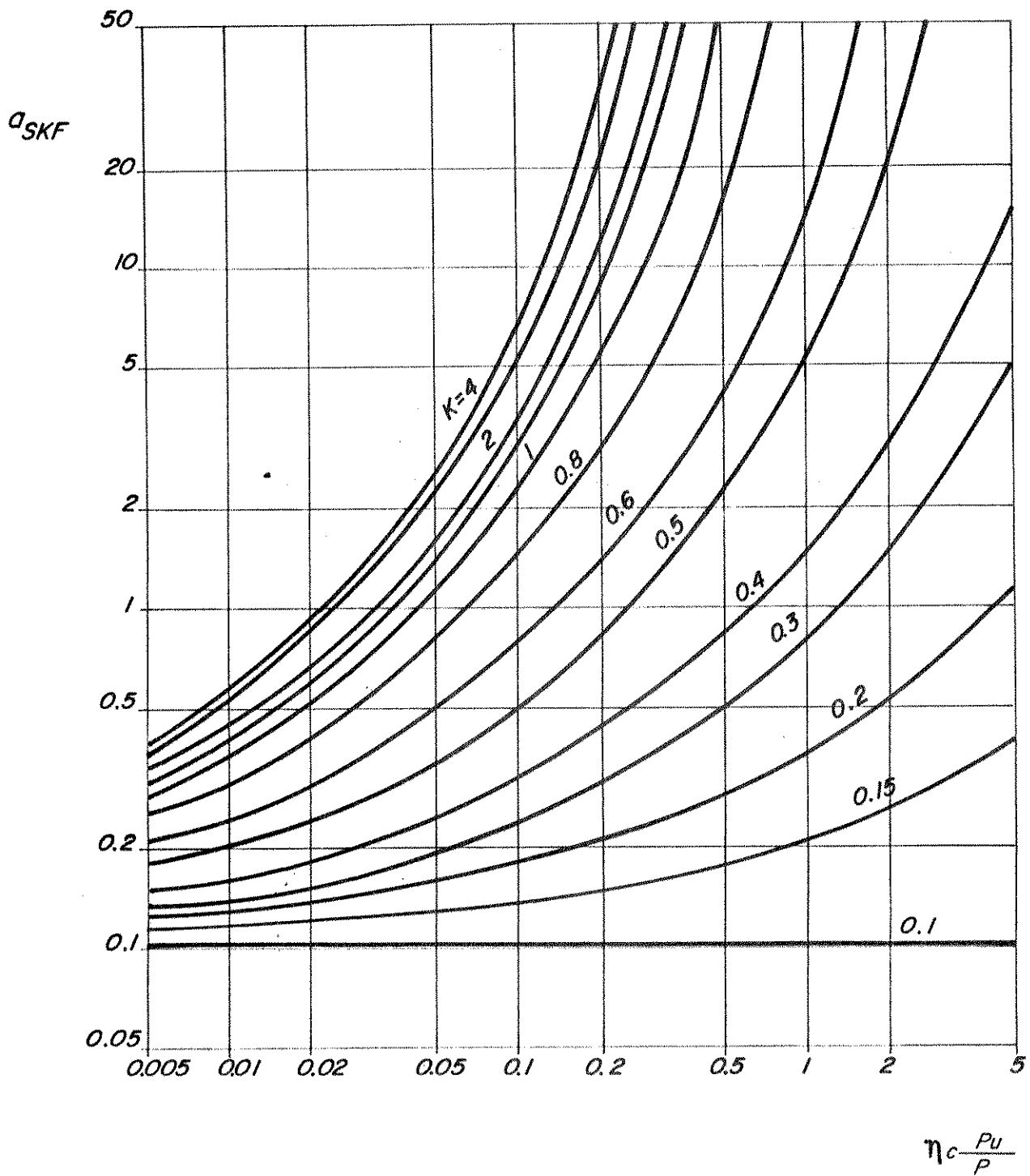
$$L_{10} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot a_4 \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

El diseñador deberá asegurarse de no aplicar indiscriminadamente los factores de ajuste de vida, porque pueden resultar en una estimación demasiado optimista respecto a la vida del rodamiento por fatiga. Algunos parámetros inciertos tales como el tamaño de la flecha, desalineamiento, gradientes de temperatura etc., puede anular el valor de la ecuación anterior. Cuando se requiera con la selección de un rodamiento necesidades especiales, el diseñador deberá consultar con el fabricante.

3.2.6 Fórmula de vida de acuerdo a nuevas teorías

Específicamente, los fabricantes de los rodamientos SKF, han ampliado los trabajos realizados por Lundberg y Palgren, los cuales se basan en la fórmula clásica de la vida L_{10} normalizada por ISO, para tener en cuenta la carga límite de fatiga y una serie de otros factores relacionados con la lubricación y la contaminación. La carga límite de fatiga P_0 es un concepto nuevo que representa la carga por debajo de la cual no puede producirse fatiga en el rodamiento. Al objeto de ofrecer una idea general sobre el alcance de esta nueva teoría de la vida y sus efectos, se ha elaborado una fórmula simplificada que muestra la relación entre las dos fórmulas de vida ISO:

FACTOR a_{SKF} PARA RODAMIENTOS RADIALES DE BOLAS



Si $K > 4$, tomar la curva $K=4$
 Cuando el valor de $\eta_c (P_u/P)$ tiende a cero, a_{SKF} tiende a 0.1 para todos los valores de K .

$$L_{nom} = a_1 * a_{alt} * \left(\frac{C}{P} \right)^k,$$

o simplemente,

$$L_{nom} = a_1 * a_{alt} * L_{10}$$

donde:

L_{nom} = Vida nominal ajustada según la nueva teoría de la vida en millones de revoluciones

a_{alt} = Factor de ajuste de vida basado en la nueva teoría de la vida

Muy limpio* Tamaño de partículas del orden del espesor de la película del lubricante	1
Limpio Condiciones típicas de rodamientos con obturaciones engrasados de por vida	0,8
Normal Condiciones típicas de rodamientos con protecciones engrasados de por vida	0,5
Contaminado Condiciones típicas de rodamientos sin obturaciones integradas; filtro de paso grueso para lubricante y/o entrada de partículas desde el entorno	0,5 a 0,1
Fuertemente contaminado	0

Tabla 3.9

El factor a_{alt} representa una relación muy compleja entre una serie de otros factores que incluyen las condiciones de lubricación y están relacionados con la razón de viscosidades k . Los valores

de a_{111} en función de $n(P_0/P)$ para los diferentes valores de ϵ , se pueden hallar en la gráfica 3.5; los valores de P_0 pueden hallarse en el catálogo del fabricante, mientras que P corresponde al valor de la carga equivalente o total sobre el rodamiento.

El factor para contaminación ha sido introducido al objeto de tomar en cuenta la contaminación en la vida del rodamiento antes de alcanzar el límite de fatiga, el cual depende de una serie de parámetros como el tamaño del rodamiento, el espesor relativo de la película del lubricante, el tamaño y la distribución de las partículas sólidas y el tipo de contaminante, (blando o duro). La influencia de estos parámetros en la vida de un rodamiento es compleja y muchos de ellos difíciles de cuantificar. Por tanto, no es fácil asignar valores precisos a n_0 que puedan tener validez general. No obstante, la tabla 3.9 puede servir de guía.

3.2.7 Selección del tamaño utilizando la capacidad de carga estática

El tamaño del rodamiento se debe seleccionar con base en capacidad de carga estática C_0 y no basado en su duración en cada uno de los siguientes casos:

- a.- Cuando se trata de un rodamiento estacionario sometido a cargas continuas o intermitentes (choque)
- b.- Cuando el rodamiento efectúa lentos movimientos de oscilación o alineación bajo carga
- c.- Cuando el rodamiento gira bajo carga a velocidades muy bajas y sólo se necesita alcanzar una vida corta
- d.- Cuando el rodamiento gira y tiene que soportar elevadas cargas de choque durante una fracción de revolución, además de las cargas de trabajo normales.

Por consiguiente, es necesario asegurar que no se produzcan deformaciones permanentes o que éstas sean muy pequeñas, y para

conseguirlo, se debe seleccionar un rodamiento que tenga una capacidad de carga estática lo suficientemente elevada cuando la aplicación exija que el rodamiento cumpla con los siguientes requisitos:

- a.- Funcionamiento silencioso (motores eléctricos)
- b.- Funcionamiento sin vibraciones (máquinas-herramienta)
- c.- Un par de rozamiento constante (equipos de medición y aparatos para realizar ensayos)
- d.- Bajo rozamiento en el arranque con carga (grúas)

Cuando el tamaño de un rodamiento requerido se determina con base en la capacidad de carga estática, se emplea un factor de seguridad S_e que representa la relación entre la capacidad de carga estática nominal C_e y la carga estática equivalente P_e , para calcular la capacidad de carga estática normal requerida.

3.2.7.1 Capacidad de carga estática necesaria

La capacidad de carga estática necesaria C_e se puede determinar mediante la ecuación:

$$C_e = S_e P_e$$

donde:

C_e = capacidad de carga estática, en N

S_e = factor de seguridad estático

En la tabla 3.10, se dan valores de seguridad estáticos S_e basados en la experiencia sobre rodamientos de bolas y rodillos para varias clases de funcionamiento y exigencias de rotación suave. A temperaturas elevadas, la capacidad de carga estática del rodamiento disminuye.

3.2.7.2 Comprobación de la capacidad de carga estática

Para rodamientos dinámicamente cargados, que hayan sido seleccionados con base en la duración, se aconseja comprobar por medio de la siguiente ecuación si su capacidad de carga estática es la adecuada, siempre que se conozca el valor de la carga estática equivalente:

Valores de Comprobación de carga estática

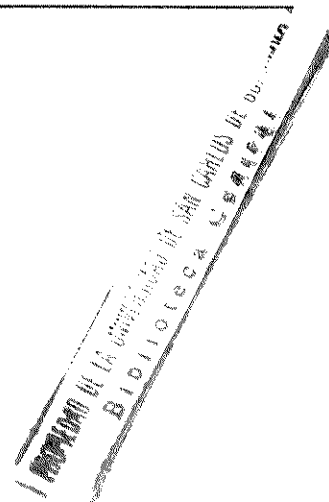
Tipos de funcionamiento	Rodamientos giratorios						Rodamientos estacionarios	
	Requerimientos relativos al funcionamiento silencioso							
	no importante		normal		alto			
	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos
Suave, sin vibraciones	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque 1)								
notable	>= 1,5	>= 2,5	>= 1,5	>= 3	>= 2	>= 4	>= 1	>= 2

Para rodamientos axiales de rodillo a rótulas, es aconsejable utilizar $S_e \geq 4$

1) Cuando no se conoce la magnitud de la carga, deben usarse valores de S_e por lo menos iguales a los arriba indicados. Si las magnitudes de la cargas de choque son exactamente conocidas, se pueden aplicar a S_e valores menores.

tabla 3.10

$$S_e = \frac{C_e}{P_e}$$



Si el valor de S_e , que se obtenga a partir de la ecuación resulta inferior al valor recomendado en la tabla 3.10, se debe seleccionar otro rodamiento que tenga una mayor capacidad de carga estática.

3.3 ROZAMIENTO

El rozamiento de un rodamiento es el factor determinante en lo concerniente a la generación de calor en el rodamiento y por consiguiente, de él depende la temperatura de funcionamiento. El rozamiento depende de la carga y de otros factores entre, éstos los más importantes son:

- a.- El tipo y tamaño del rodamiento
- b.- La velocidad de rotación
- c.- La cantidad y propiedades del lubricante

La resistencia total a la rotación de un rodamiento se compone del rozamiento originado en la rodadura y en el deslizamiento en los propios contactos de la rodadura, del rozamiento en las áreas de contacto entre elementos rodantes y jaula y en las superficies de guiado para los elementos rodantes o la jaula, además de la fricción con el lubricante y el rozamiento originado por el deslizamiento en las obturaciones del rodamiento.

3.3.1 Cálculo del par de rozamiento

Bajo condiciones de carga, $P \leq 0,1 \cdot C$ lubricación adecuada y funcionamiento normal, es posible calcular la resistencia de rozamiento, usando un cierto coeficiente de rozamiento mediante la ecuación:

$$M = \mu \cdot F \cdot d$$

Donde:

M = Par de rozamiento, en lbs-pulg

μ = Coeficiente de rozamiento, tabla 3.11

F = Carga aplicada, en lbs.

d = Diámetro del agujero, en plg.

Tipo de Carga	Coeficiente de fricción					
	Bolas		Rodillos esféricos		Rodillos cilindricos	
	a	r	a	r	a	r
Radial	0.0025	0.0015	0.0030	0.0018	0.0020	0.0011
Axial	0.0060	0.0040	0.0120	0.0080	0.0050

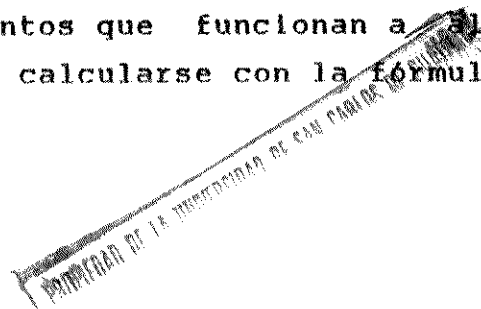
Tabla 3.11 *arranque, **rotando

3.3.2 Cálculo del par de rozamiento con mayor precisión

El par de rozamiento total de un rodamiento se obtiene sumando el par de rozamiento M_0 , que es independiente de la carga aplicada sobre el rodamiento con el par de rozamiento M_1 que si depende de la carga. Estas ecuaciones son sólo válidas si las superficies que ruedan entre si en el rodamiento, están separadas por una película adecuada del lubricante:

$$M = M_0 + M_1$$

El par de rozamiento M_1 que depende de las pérdidas hidrodinámicas originadas en el lubricante, la viscosidad y la cantidad de lubricante usado, así como de la velocidad de rotación. Es el factor dominante en los rodamientos que funcionan a altas velocidades con cargas ligeras y pueden calcularse con la fórmula:



$$M = 10^{-8} f_v (v \cdot n)^{1/3} \cdot d_m^2 \quad \text{si } v \cdot n \geq 2000$$

$$M = 160 \cdot 10^{-7} f_v \cdot d_m^2 \quad \text{cuando } v \cdot n < 2000$$

donde:

d_m = diámetro medio, mm

f_v = coeficiente que depende del tipo de rodamiento y su lubricación

n = velocidad en rpm

v = viscosidad cinemática del aceite a la temperatura de funcionamiento, en mm^2/seg

El par M_f es el predominante para bajas velocidades y elevadas cargas, y proviene de las deformaciones elásticas y deslizamientos parciales en los contactos, y se obtiene así:

$$M_f = f_f \cdot P_1 \cdot d_m^a$$

Donde:

f_f = coeficiente que depende del tipo de rodamiento y de la carga aplicada

P_1 = carga sobre el rodamiento que determina el par de rozamiento, N

a, b = exponentes que dependen del tipo de rodamiento

Dada la multiplicidad de valores de f_v , f_f , P_1 , a y b , según la aplicación y tipo de rodamiento, por razones de espacio, no es posible enumerarlos por lo que se recomienda consultar el catálogo del fabricante para obtener dichos valores.

3.3.3 Pérdida de potencia y temperatura del rodamiento

La pérdida de potencia en el rodamiento producida por el rozamiento se puede calcular por la ecuación:

$$N_r = 1,05 \cdot 10^{-4} \cdot M \cdot n$$

Donde:

M_e = pérdida de potencia, en W

M = $M_e + M_1 + M_2 + M_3$

n = velocidad de funcionamiento, en rpm

3.3.4 Par de arranque

El par de arranque de un rodamiento se define como el par de rozamiento que debe vencer el rodamiento para poder empezar a girar partiendo del reposo. El valor del par de arranque se puede tomar, en general, como el doble del par de rozamiento M_1 , que depende de la carga aplicada sobre el rodamiento, aunque para rodamientos de rodillos cónicos con ángulos de contacto de gran amplitud, puede alcanzar valores de hasta cuatro veces M_1 y para rodamientos de rodillos a rotula, el par de arranque puede ser de hasta ocho veces M_1 . Los valores para f_r , f_i y f_d se encuentran en las tablas de los catálogos de fabricante, que debido a las limitaciones de espacio, no es posible citar en este trabajo.

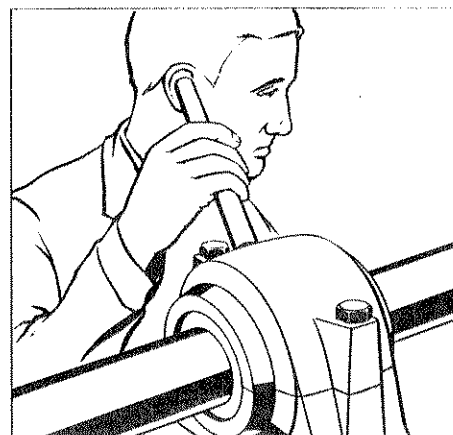
PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
BIBLIOTECA Central

MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE LOS RODAMIENTOS

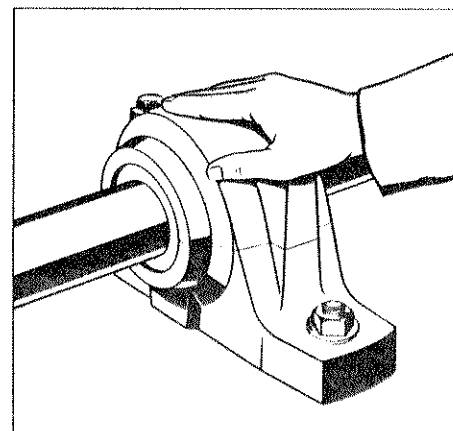
4.1 VIGILANCIA DURANTE EL FUNCIONAMIENTO

Los rodamientos montados en máquinas en las que una parada acarrea serias consecuencias deben revisarse regularmente, siguiendo los cuatro pasos dados a continuación, que darán una mejor idea del funcionamiento dentro de la vigilancia rutinaria.

1) Escuchar; apóyese por un extremo un palo, un destornillador u objeto similar sobre el alojamiento del rodamiento lo más próximo posible a éste. Aplique el oído al otro extremo y escuche si todo esta en orden, deberá oírse únicamente un suave zumbido que se eleva y baja, a menudo irregular y sordo.



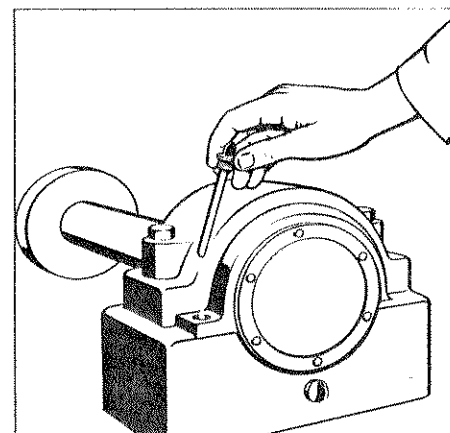
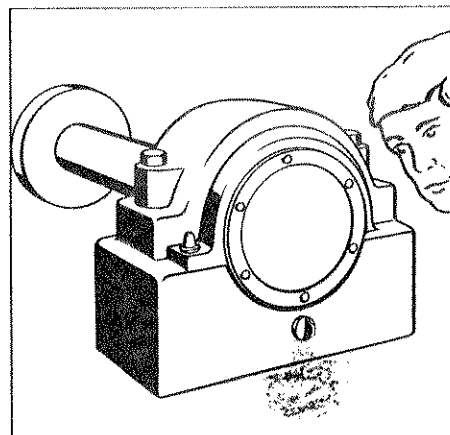
2) Tocar; compruébese la temperatura mediante un termómetro, o en otro caso, poniendo la mano sobre el alojamiento. Si la temperatura parece alta el motivo puede ser falta o exceso de lubricante, impurezas, sobrecarga, rodamiento dañado, insuficiente juego interno, acuñaamiento, gran rozamiento en las obturaciones o calentamiento procedente del exterior. Tómese en cuenta que en la relubricación hay una elevación de temperatura normal por uno o dos días.



3) Observar; vigile que no se escape el lubricante a través de obturaciones defectuosas o tapones mal apretados; estos deben mantenerse en tal estado que

por ejemplo los líquidos calientes o corrosivos no puedan penetrar hasta los rodamientos. Comprobar el funcionamiento de la lubricación automática en caso de haberla.

4) Lubricar; relubrique los rodamientos según las instrucciones de lubricación del fabricante de la máquina, si es con grasa, limpie bien los engrasadores antes de inyectar grasa nueva. Es preciso desmontar la parte superior o la tapa lateral, quitar la grasa vieja y reemplazarla por una nueva; si es por aceite, se comprueba el nivel de aceite y que el agujero de aire del tubo de nivel de aceite esté abierto, en el caso de lubricación por baño de aceite, una vez al año en temperaturas de 50°C , en temperaturas de 100°C trimestralmente; en 120°C mensualmente y en 130°C semanalmente.

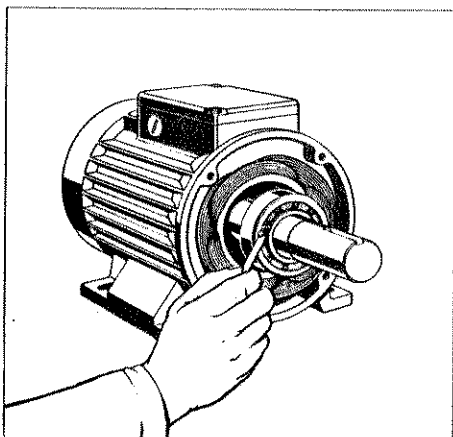


4.2 REVISIÓN DURANTE LOS PAROS

Aunque los rodamientos son componentes mecánicos robustos, con una larga duración de servicio, es prudente, sin embargo, revisarlos de vez en cuando.

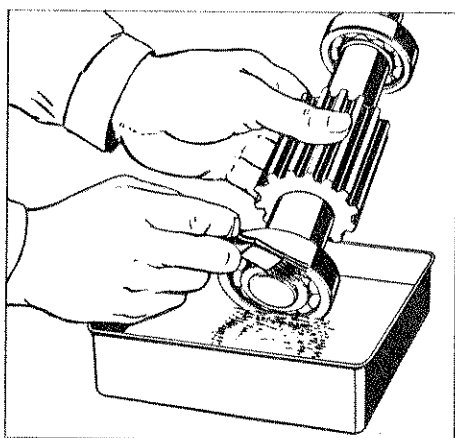
Esto se debe efectuar preferentemente durante una parada programada de la máquina o cuando ésta deba desmontarse por algún motivo.

1) Iniciar la revisión preparando el lugar de trabajo de modo que esté lo más seco y limpio posible. Limpie el exterior y anote en qué orden se desmontan los elementos circundantes y sus posiciones relativas. No haga nunca palanca sobre las obturaciones ni las fuerce.



2) Observe el lubricante; impurezas de diversas clases que pueden generalmente detectarse frotando un poco de lubricante entre los dedos o extendiendo un poco sobre el dorso de la mano y mirando a contraluz.

3) Cuide de que no pueda penetrar polvo y humedad en la máquina de la que se haya retirado tapas y obturaciones. Cubra la máquina, rodamientos al descubierto y los asientos de estos.



4) Lave el rodamiento descubierto con un solvente adecuado o use aire comprimido (tenga cuidado que ningún componente del rodamiento se ponga a girar); inspeccione los caminos de rodadura, las jaulas y los elementos rodantes.

4.3 DESMONTAJE DE RODAMIENTOS

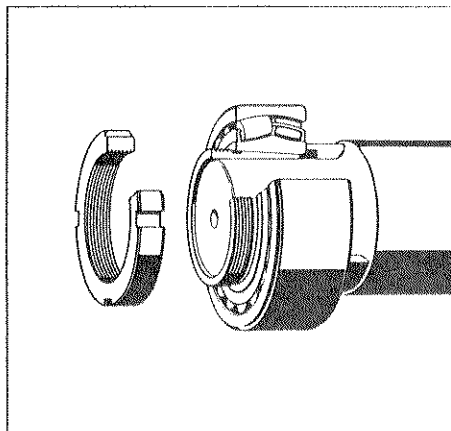
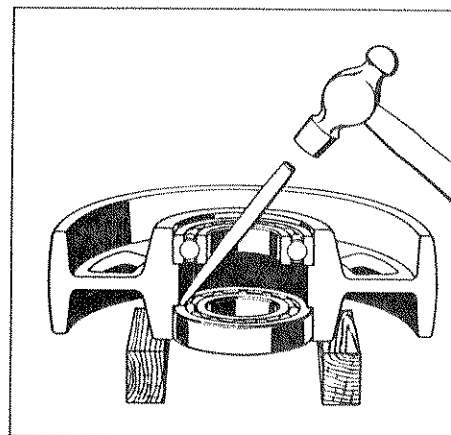
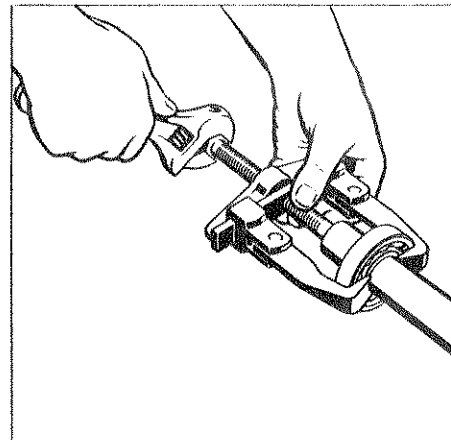
1) Si por algún motivo hay que desmontar el rodamiento, es una buena regla señalar primeramente cómo va montado el rodamiento. Disponga de un apoyo de contención del eje; de lo contrario, los rodamientos pueden ser dañados por las fuerzas del montaje que normalmente aparecen en el curso del trabajo.

2) Si el rodamiento está muy ajustado sobre el eje, debe emplearse un extractor, el cual normalmente debe aplicarse anillo interior. Es conveniente desmontar los rodamientos grandes mediante herramientas hidráulicas de desmontaje.

Si resulta difícil agarrar el anillo, interior debe hacerse en el anillo exterior, pero es muy importante hacerlo girar durante el desmontaje para no dañar algún elemento del rodamiento.

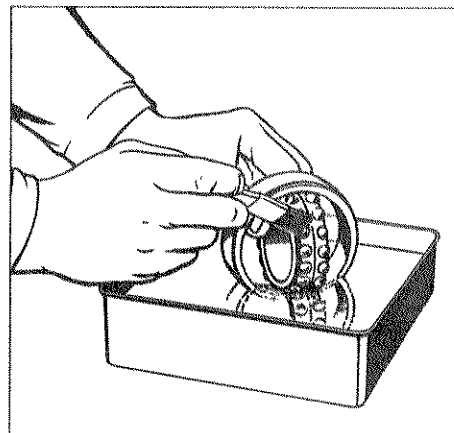
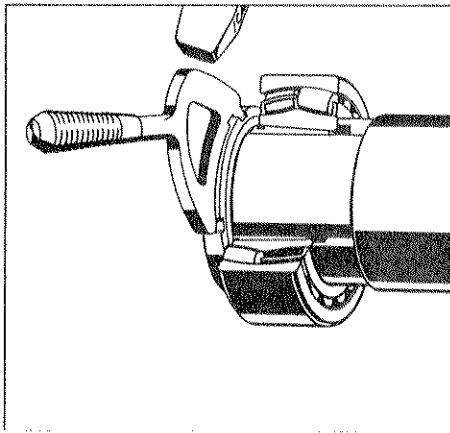
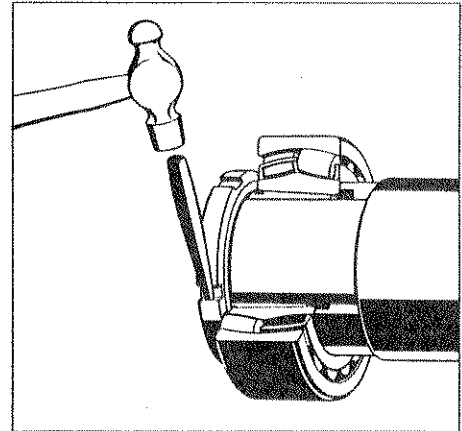
3) Si no se dispone de extractor apropiado, puede emplearse un botador con punta redondeada, o si el rodamiento está fuertemente adherido al alojamiento, puede expulsarse usando un botador especial de segmento o tubular, golpeándolo uniformemente alrededor. Debe emplearse un botador con punta redondeada, en caso de haber resalto entre los rodamientos. El anillo interior de los rodamientos a rótula puede ladearse y es posible el uso de extractor.

4) Los rodamientos a rótula suelen montarse sobre manguitos de fijación o de desmontaje. Previamente al desmontaje, se señala la posición del manguito sobre el eje. A continuación, se levanta la lengüeta doblada de la arandela de retención. Desenrósqese la tuerca algunas vueltas, aplíquese un botador de segmento o un tubular a la tuerca y dé un martillazo fuerte de forma que el rodamiento se desprenda. Si está montado sobre un eje sin resalte o si no hay casquillo separador entre el rodamiento y el resalte del eje, la herramienta se aplicará en cambio al anillo interior del rodamiento.



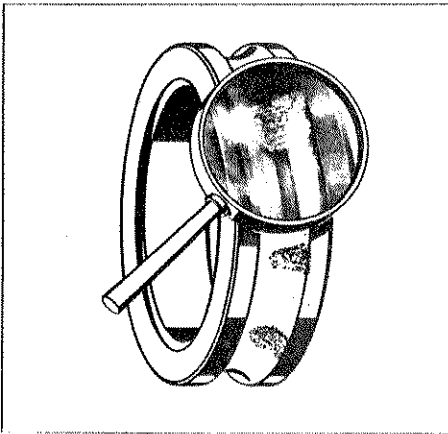
5) Tratándose de rodamientos

pequeños y medianos, se extrae el manguito mediante una tuerca de la misma clase que la empleada con los manguitos de fijación. Apriete la tuerca con una llave de gancho o una llave de golpe hasta que se afloje el rodamiento. Si el manguito que ha de desprenderse es pequeño, puede emplearse un botador en lugar de una llave de gancho. Una vez desmontado; el rodamiento debe inspeccionarse y lavarse con un solvente adecuado o se puede usar aire comprimido (tenga cuidado de que ningún componente del rodamiento se ponga a girar). Mire si hay huella en los caminos de rodadura y en los elementos rodantes de rodamiento.

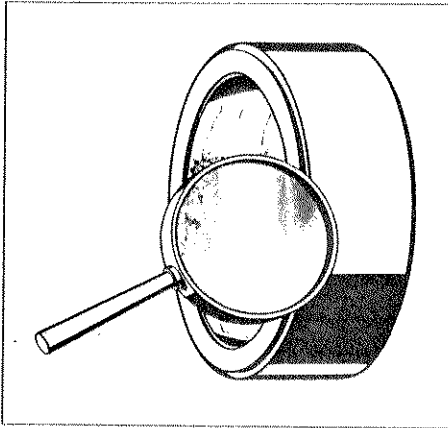


4.4 AVERÍAS EN LOS RODAMIENTOS

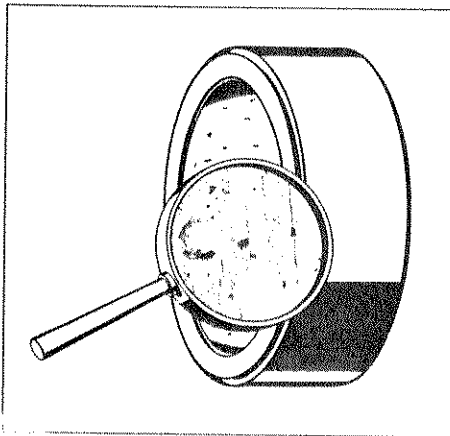
A continuación, se mencionaran ocho causas, entre otras, de avería en los rodamientos.



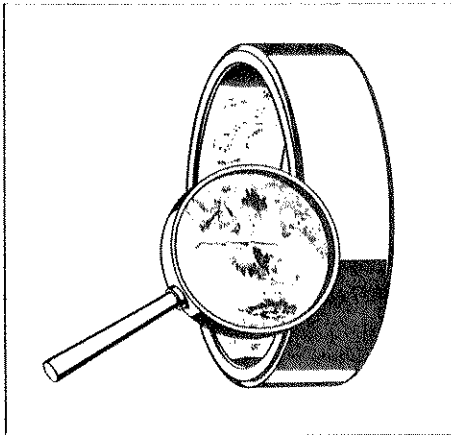
1) Defectos de montaje, si el rodamiento se monta mal, por ejemplo, montándolo o encajándolo excesivamente fuerte sobre manguito de fijación o asiento cónico, puede sufrir descascarillados en el camino de rodadura del anillo exterior debidos a precarga radial. Una precarga axial puede originarse, por ejemplo, cuando el rodamiento queda acuñado lateralmente. Durante el montaje, no deben darse golpes sobre un extremo del eje, una polea etc., sin apoyo de contención o se producirán huellas en los caminos de rodadura y elementos rodantes, acortando la duración.



2) Lubricación defectuosa; un rodamiento mal lubricado presenta un camino de rodadura con un pulido de gran brillo pero a menudo también con microgrietas en la superficie. Por regla general, es sin embargo, la jaula la que se rompe primero, por lo que, una bola o un rodillo fácilmente queda acuñado y se produce la avería total del rodamiento.

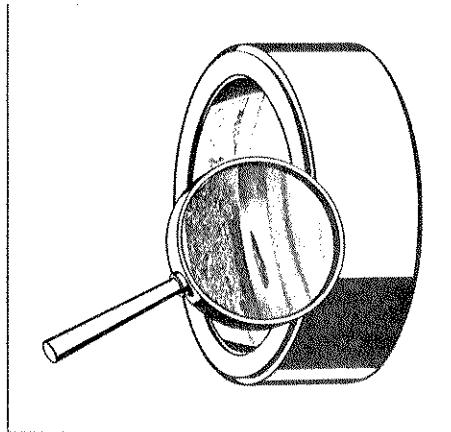


3) Impurezas en el rodamiento; si en el rodamiento penetran impurezas en forma de partículas sólidas, se ocasionan huellas de presión en los caminos de rodadura y elementos rodantes, con posible descascarillado en forma de escamas. Las impurezas pueden naturalmente haber entrado durante el montaje, pero lo más probable es que

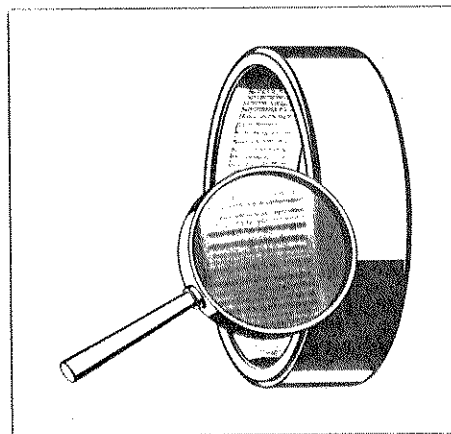


alguna de las obturaciones sea inadecuada.

4) Agua en el rodamiento; todos los componentes del rodamiento son generalmente metálicos. Los metales son sensibles a la acción del agua, especialmente del agua salada. Un brusco descenso de temperatura da lugar a una condensación y originar así corrosión.



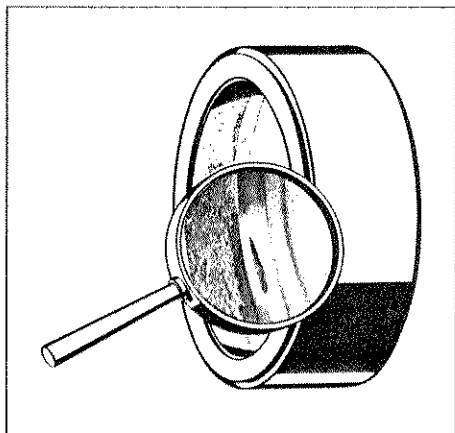
5) Defecto de forma en el soporte o eje, falta de redondez del alojamiento del rodamiento en el soporte o de su asiento sobre el eje, puede dar desperfectos en dos puntos opuestos. También otros defectos de forma pueden perjudicar el rodamiento. Una viruta metálica entre el anillo exterior y el soporte puede producir deformación suficiente como para dañar el camino de rodadura del anillo exterior.



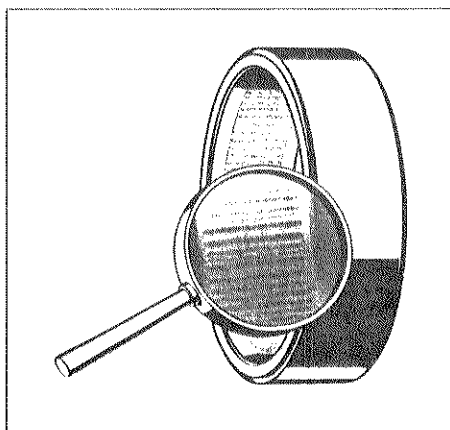
6) Daños por vibración, en máquinas sometidas a vibración, pueden provocar daños en el rodamiento que no gira, debido a que los elementos rodantes rozan contra los caminos de rodadura al compás de la vibración. Para evitar tales daños, el eje debe montarse e inmovilizarse para que de este modo el rodamiento quede descargado, o bien cuidar que el eje esté continuamente girando despacio. A menudo es suficiente con abreviar los períodos de parada de la máquina.

7) Paso de la corriente eléctrica, aunque la diferencia de potencial entre

el eje y el soporte sea baja (0,4 voltios), puede producirse una descarga de corriente a través de la delgada película de lubricante entre los elementos rodantes y el camino de rodadura. El resultado es un número de cráteres por quemaduras o zonas estriadas. Daños de esta clase pueden originarse por ejemplo, por mal contacto por tierra al efectuar trabajos de soldadura en la máquina.



8) Fatiga del material; cuando se presentan descascarillados por fatiga puede a veces ser porque el rodamiento ha alcanzado su duración efectiva. Esta sobrepasa generalmente en forma apreciable la duración nominal calculada.



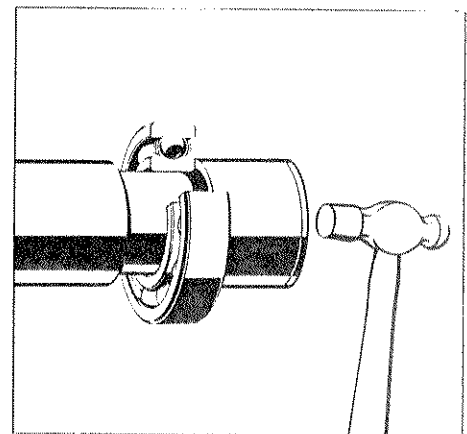
4.5 MONTAJE DE LOS RODAMIENTOS

Una condición para que un rodamiento funcione satisfactoriamente y alcance la duración prevista es que en su montaje se utilice el método correcto y se observe limpieza y orden. Examine cuidadosamente las piezas vecinas a los rodamientos, quite rebabas y limpie el eje de los resaltes,

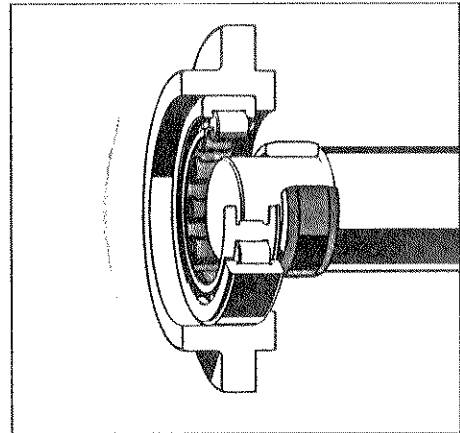
verifique el eje y el soporte en lo que respecta a exactitud de dimensiones y forma.

1) Ajuste de apriete en el eje, al cambiar un rodamiento; el nuevo no debe sacarse de la envoltura hasta el momento de montarlo; no quite el agente antioxidante excepto de las superficies cilíndricas exterior y en el agujero. Unte con aceite el asiento del rodamiento antes de su montaje; no aplique nunca martillazos directamente sobre el rodamiento, sino intercale siempre algún elemento; el anillo podría quebrarse, la jaula dañarse o desprenderse fragmentos metálicos y estropear el rodamiento al hacerlo funcionar. Los rodamientos pequeños se montan mediante un botador de segmento o un tubular bien limpio; los extremos del tubo han de ser planos, paralelos y estar exentos de rebabas. No fuerce nunca presionando sobre el anillo exterior al montar el rodamiento sobre el eje, pues podría dañar los caminos de rodadura y los elementos rodantes, con los que la duración del rodamiento disminuirá considerablemente. Si el eje lleva roscas interiores o exteriores éstas pueden aprovecharse para el montaje; si se dispone de una prensa hidráulica o mecánica, pueden montarse en frío rodamientos pequeños y medianos. Intercale un casquillo o trozo de tubo bien limpio entre la prensa y el anillo interior. Para rodamientos grandes, su montaje se lleva a cabo calentádoslos por el método recomendado por el fabricante y a las temperaturas dadas.

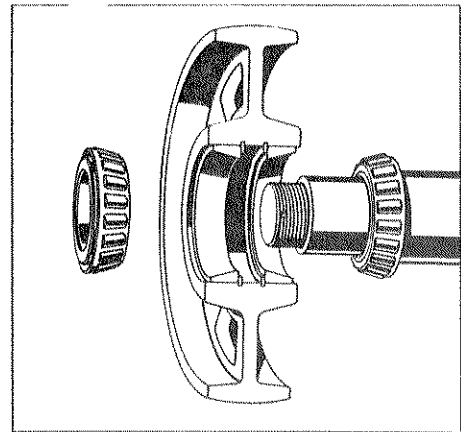
2) Rodamientos de rodillos cilíndricos; estos generalmente pueden montarse por partes; móntese primero el anillo libre y acéite ligeramente el camino de rodadura, aceite seguidamente los rodillos y colóquense al otro anillo con la corona de rodillos al mismo



tiempo que se hace girar el eje o el alojamiento. Vigile que la corona de rodillos entre en forma correcta; se recomienda el uso de un casquillo guía. Cualquier parte del rodamiento que quede inclinada al ser montado puede dañar fácilmente los anillos o los rodillos, especialmente si los rodillos y los caminos de rodadura no están aceitados o no se han girado durante su colocación.

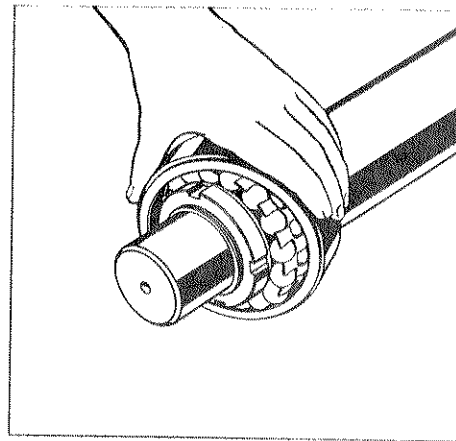
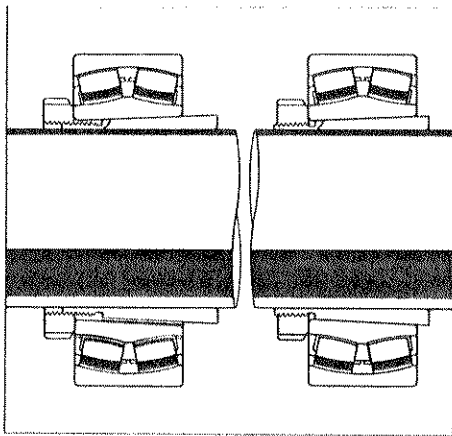


3) Rodamientos de rodillos cónicos; el montaje de éstos puede ser relativamente complicado; frecuentemente han de montarse con un determinado juego interno o ajustarse a una cierta precarga predeterminada mediante muelles o arandelas de reglaje. Las aplicaciones sencillas de rodamientos para ruedas pueden no obstante montarse sin mayores problemas. Empiécese por forzar los anillos exteriores en el cubo con ayuda de un manguito de montaje o un botador tubular bien limpio; compruébese que los anillos queden apoyados contra los respectivos anillos de retención.



4) Rodamientos sobre manguitos; el anillo interior de un rodamiento con agujero cónico se monta siempre con ajuste de apriete, generalmente sobre manguito de fijación o de desmontaje. El grado de apriete depende de lo que se introduzca el rodamiento sobre el cono. El juego radial original del rodamiento disminuye gradualmente durante la insertación. Deslícese el manguito de fijación sobre el eje hasta la posición marcada al desmontarlo; esto se facilita abriendo un poco la hendidura con un destornillador. Si por algún motivo falta la señal de la posición del manguito sobre el eje, debe averiguarse dónde debe situarse

exactamente el rodamiento y colocar el manguito de acuerdo con ello; en ciertos casos puede ser necesario hacer una prueba de montaje del rodamiento para calcular cuál será la posición correcta del manguito. Qúitese el agente antioxidante del agujero del rodamiento, pero sólo del agujero antes de montarlo, lubricar la rosca de la tuerca de seguridad y el lado opuesto al rodamiento utilizando pasta de disulfuro de molibdeno o un compuesto similar; a continuación, emplee aceite para la lubricación de la superficie de los manguitos. Coloque el rodamiento sobre el manguito de fijación y enrosque la tuerca, fije el rodamiento apretando la tuerca. Al montar rodamientos de bolas a rótula sobre manguitos de fijación; se comprobará la reducción del juego girando y ladeando el anillo exterior durante la insertación; cuando la presión de la tuerca sea la apropiada, el anillo exterior debe tener facilidad para girar, pero debe ofrecer cierta resistencia al ladearlo.



5) Llenado del lubricante; cuando es por grasa llénense los espacios entre las bolas o los rodillos con una grasa apropiada para las condiciones de trabajo; el espacio libre alrededor del rodamiento se llena de grasa normalmente entre la tercera parte y la mitad. Si el rodamiento funciona a un número muy elevado de revoluciones, debe disminuirse algo la cantidad de grasa en el espacio libre; si el rodamiento funciona a un número muy reducido de revoluciones, puede llenarse totalmente de grasa el espacio libre alrededor del rodamiento. Cuando es lubricación con aceite,

llénese con aceite de la calidad prescrita y en la cantidad adecuada; si se recomienda un nivel de aceite para el funcionamiento, se debe comprobar también.

6) Pruebas e informes; inmediatamente después de la puesta en marcha, se esta todavía a tiempo de corregir un eventual error; manténgase por ello el rodamiento bajo una detenida observación durante este primer período de funcionamiento. A la menor sospecha de que algo no está en perfecto orden, debe pararse la máquina e investigarse la disposición. Los datos de montaje, tales como la fecha, la designación completa del rodamiento, resultado de las verificaciones de dimensiones, juego interno del rodamiento antes y después del montaje, qué lubricante se ha empleado etc., deben recopilarse en un informe. Si el informe se completa con un esquema de entretenimiento, en el que se especifique la relubricación, trabajo de inspección etc., se tendrá con el tiempo una buena visión del estado de los rodamientos, que permite planear con antelación suficiente los eventuales recambios futuros de los mismos.

4.6 LUBRICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

Un rodamiento bien lubricado no se desgasta, puesto que el lubricante impide contacto metálico directo entre los diversos elementos del rodamiento; el fabricante de la máquina indica por regla general qué lubricante e intervalo de relubricación debe adoptarse, y en tal caso basta sólo con seguir las instrucciones. En caso de faltar tales instrucciones, pueden ser útiles las siguientes recomendaciones.

Todos los rodamientos pueden en principio lubricarse con grasa o bien con aceite, los rodamientos axiales de rodillos a rótula exigen no obstante normalmente lubricación por aceite; la grasa puede usarse solamente a muy bajas velocidades. En cuanto a los rodamientos estancos, o sea rodamientos con placas de protección o de obturación, se llenan de grasa en el momento de fabricación y no necesitan por tanto relubricarse nunca.

Determinante para la elección del lubricante es en primer lugar el rango de temperaturas y la velocidad a la que trabaja el rodamiento, en condiciones normales de funcionamiento se puede generalmente utilizar grasa, la cual se mantiene más fácilmente en el rodamiento en comparación con el aceite; la grasa contribuye también por sí misma a proteger el rodamiento contra la humedad e impurezas; la lubricación con aceite se emplea comúnmente cuando las temperaturas de funcionamiento o las velocidades son elevadas, cuando interesa disipar calor de la aplicación, y cuando los elementos contiguos de la máquina están lubricados por aceite.

4.6.1 Principios básicos

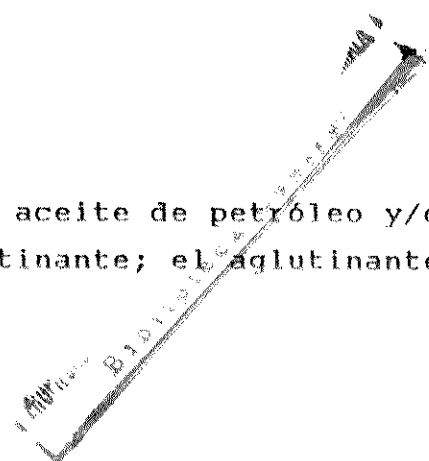
En una correcta operación con rodamientos, una delgada película de lubricante separa los elementos rodantes de los caminos de rodadura; esta película puede ser de suficiente espesor para prevenir un contacto áspero entre las superficies metálicas. Proveer esta película de lubricante es la función primaria de la lubricación en los rodamientos; la lubricación primaria también provee:

- 1.- Protección de la corrosión
- 2.- Disipación del calor
- 3.- Exclusión de contaminantes
- 4.- Evita la penetración de agua de lavados exteriores

Un buen lubricante está diseñado para tener una buena película de alta resistencia química, térmica, estabilidad mecánica y propiedades de prevención de la corrosión; esta y otras propiedades especiales están provista en las distintas formulaciones de los lubricantes modernos y sus refinadas técnicas de aditivos.

4.6.2 Grasas

Las grasas son una combinación de aceite de petróleo y/o fluidos sintéticos y un apropiado aglutinante; el aglutinante en la



grasa puede tener un rango de 3% a 30% o más. La consistencia de la grasa o dureza está determinada primordialmente por el porcentaje de aglutinante y la viscosidad del aceite base. Una grasa con una consistencia dada puede ser compuesta de muchas maneras por el porcentaje variable de los aglutinantes y la viscosidad del aceite; por esta razón, las grasas de igual dureza no pueden ser asumidas de igual rendimiento.

En resumen, la grasa como parte importante en el rendimiento de un rodamiento, deberá ser apropiadamente seleccionada para el conjunto de requerimientos de la aplicación, y deberá ser utilizada en el desarrollo de un apropiado programa de mantenimiento.

4.6.3 Aceites

El aceite es un lubricante fluido, y está clasificado como:

- 1.- De petróleo
- 2.- Sintéticos

Este puede ser bombeado, circulado, filtrado, calentado, enfriado, atomizado, etc.; es más versátil que las grasas y es apropiado para aplicaciones severas que involucran extremas velocidades y altas temperaturas. En otros casos porque el aceite es un fluido, es más dificultoso para sellar o retener en los rodamientos o carcasas.

4.6.4 Lubricantes sintéticos

El desarrollo de un amplio rango de lubricantes sintéticos que va desde los ácidos ester-dobles (diester) hasta los silanes, han tenido su rápida extensión gracias a los avances tecnológicos; estos lubricantes son generalmente utilizados en operaciones en altas y bajas temperaturas, y pueden tener también otras características limitantes, tales como la habilidad de transmitir cargas y operación a altas velocidades; como con los lubricantes convencionales, no es posible asignar cargas específicas y límites de velocidad, porque estos factores deberán ser considerados en

combinación con los tipos de rodamientos, temperatura de operación etc.

4.6.5 Lubricantes secos

Los lubricantes secos han tenido su uso por muchos años en forma de polvo u suspensiones coloidales. Generalmente los sólidos están puestos en un líquido transportador, el cual se quema completamente a distancia, saliendo los lubricantes solidos. Algunos de los materiales más utilizados son:

- 1.- Grafitos
- 2.- Disulfuro de molibdeno
- 3.- Iodizados de cadmio
- 4.- fluorinatos de polietileno

Estos son aplicables a altas temperaturas y a operaciones con velocidades extremadamente lentas.

4.6.6 Compatibilidad de los lubricantes

La compatibilidad de los lubricantes es la solubilidad o afinidad de cada uno de los lubricantes con otros. Los fabricantes usualmente recomiendan utilizar sus productos sin mezclarlos con otros; estas recomendaciones están basadas en la premisa de que los complejos aditivos de petróleo usados pueden reaccionar de manera adversa cuando son mezclados. La fiabilidad de mezclas de lubricantes sólo puede ser establecida bajo observación o simulando condiciones de operación.

4.6.7 Prevención de la corrosión

Una causa común de la corrosión es la humedad en los lubricantes o rodamientos. El cambio de temperaturas puede causar espacios con aire dentro de los rodamientos o contenedores de lubricantes. Los rodamientos y lubricantes deberán ser conductores de calor de temperatura y humedad; en todo caso, la solución básica

es la protección de las partes del rodamiento de la humedad o la selección adecuada del mismo ambiente.

4.6.8 Temperatura límite del lubricante

La temperatura es el factor que mayormente afecta el funcionamiento correcto en la selección de los rodamientos, la temperatura en los lubricantes está primordialmente influenciada por la velocidad del rodamiento, la carga y la temperatura ambiente. La viscosidad del aceite base, la consistencia y su estructura química contribuirán para la operación con distintas temperaturas. La figura 5.8.1 da una comparación general entre las grasas derivadas del petróleo y las sintéticas, mientras que la figura 5.8.2 da una comparación general entre la grasa y la temperatura de manejo.

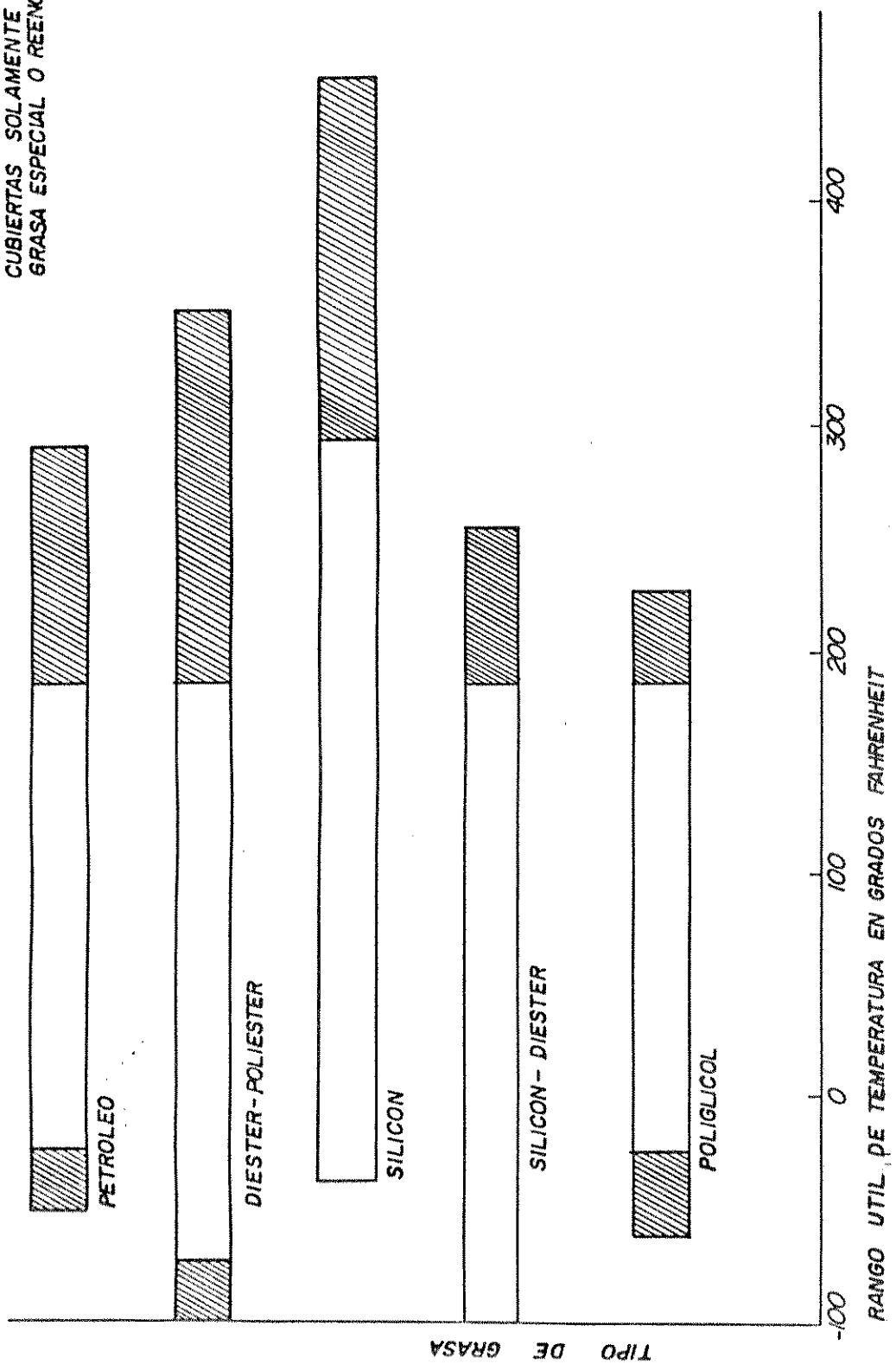
4.6.9 Selección del lubricante

La selección de un lubricante es relativamente directa en muchos casos. Un alto porcentaje de las aplicaciones está en los rangos normales de carga, velocidad y temperatura de donde la mejor calidad de las bolas y rodillos es esperada para proveer un buen rendimiento.

La selección adecuada de un lubricante debe hacerse con la ayuda de las tablas 4.1 y 4.2 tomando el mejor criterio de selección. Por ejemplo, los factores de ambiente como también los de procedimiento de mantenimiento son asumidos como normales, la humedad, la radiación, los químicos, el vacío, las atmósferas de oxidación etc., también influirán en la selección del lubricante.

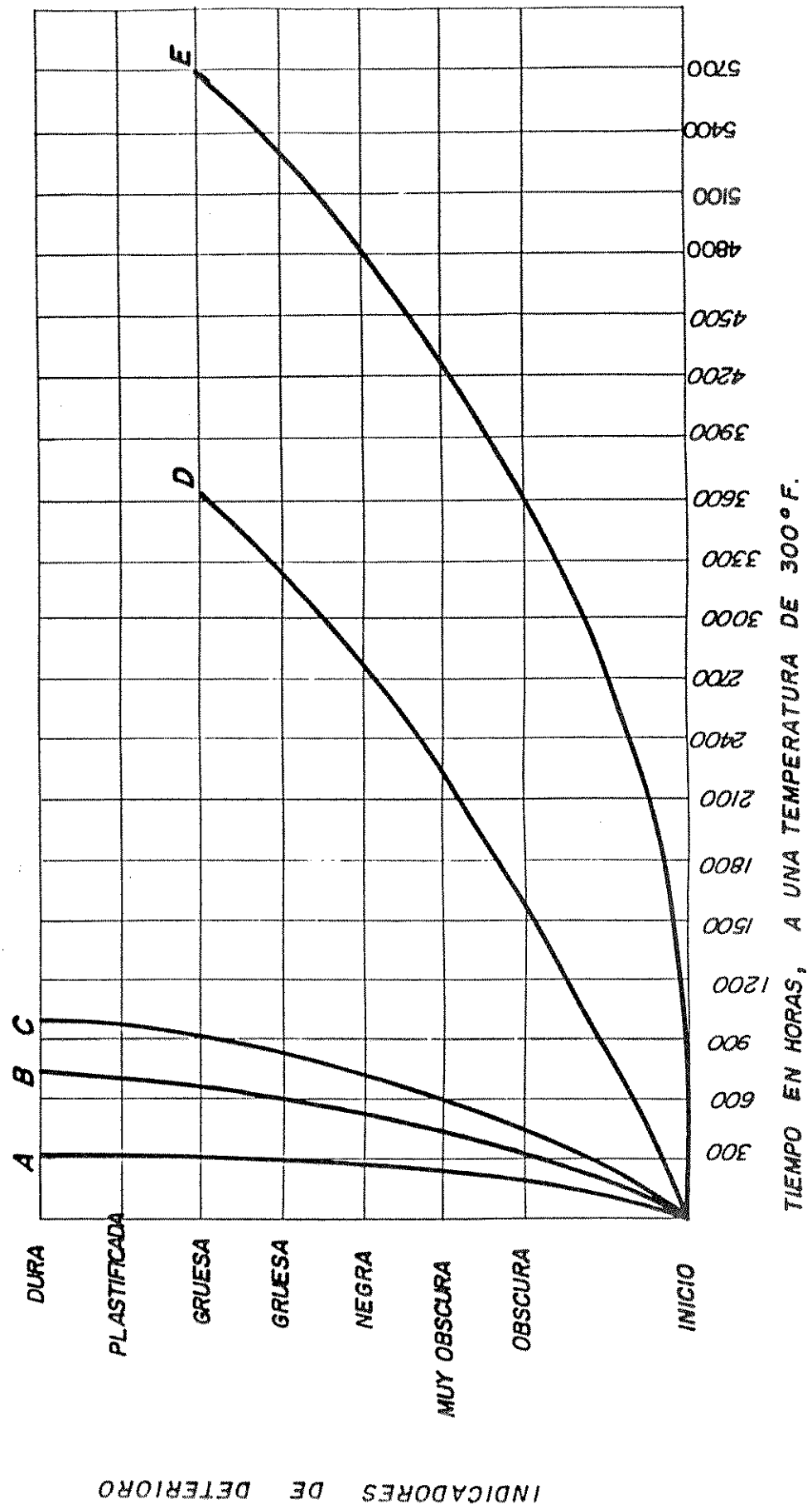
gráfica 5.8.1

LAS AREAS SOMBREADAS SON
CUBIERTAS SOLAMENTE USANDO
GRASA ESPECIAL O REENGRASAMIENTO



DETERIORO DE GRASAS A ALTAS TEMPERATURAS

gráfica 5.8.2



Rangos de operación, normales y críticos

	Carga	Velocidad	Temperatura
Baja	0 a 8% del rango C del rodamiento	hasta 10% máximo de velocidad del catálogo	Menos de 20° fahrenheit
Mediana	8 a 18% del rango C del rodamiento	10 a 75% máximo de velocidad del catalogo	20 a 200° fahrenheit
Alta	sobre el 18% del rango C del rodamiento sobre impacto/vibración	sobre el 75% máximo de velocidad de catálogo	sobre 200° fahrenheit

*Las áreas resaltadas son rangos críticos

tabla 4.1

Rangos críticos de lubricación

	Aceites	Grasas	Sintéticos
Carga-alta arriba de 18% del promedio C del rodamiento a impacto o vibración	Incrementa la viscosidad calculada por un factor de 1,5 a 2,0. Deseable si son del tipo EP	Se recomienda tipo EP, la viscosidad de la grasa se selecciona de igual manera que para lubricación con aceite	Úsese con precaución ya que algunos productos podrían no proporcionar adecuada resistencia. Se recomienda consultoría
Velocidad-alta arriba del 75% de la máxima velocidad de catálogo	Los aceites deben seleccionarse bien ya que pueden espumarse a altas temperaturas, se necesitan cambios frecuentes y control en los niveles	Normalmente no se recomienda grasa, lo conveniente de algunos productos depende de otras condiciones operación se recomienda consultoría	Úsese con precaución. Se recomienda consultoría
Velocidad-baja hasta el 18% de la máxima velocidad de catálogo	Use tipo EP de la mas alta viscosidad posible. La viscosidad calculada podría aumentarse por un factor de 2,0	Use tipos EP que tengan la mas alta viscosidad del aceite. Prefiera un grado mas suave que los usados en aplicaciones de velocidad media	Deseable alta viscosidad y características de los tipos EP. Se recomienda consultoría
Temperatura-alta arriba de 200° F	El promedio de deterioro aumenta rápidamente arriba de los 200°F. Deberá de hacerse circular o reemplazo regularmente. Seleccione aceites de alta calidad con bajas características de carbonización	El promedio de deterioro aumenta rápidamente arriba de los 200°F. La frecuencia se reengrasado deberá aumentarse acorde a esto, usualmente se determina experimentalmente	Superior en resistencia al calor y rangos de temperatura de operación. Prefiera velocidades medias y cargas medias o bajas
Temperatura-baja	Regulere viscosidad en el aceite para permitir el arranque en frío y la correcta viscosidad en las subsiguientes temperaturas de operación. Muchos aceites convencionales son adecuados a -10°F	Regulere grasa para permitir arranque en frío y no excesivamente delgada a temperaturas subsiguientes de operación. Muchas grasas convencionales son adecuadas hasta -20°F	Generalmente requeridas a temperaturas menores de -20°F. Excelentes características en estos rangos de temperatura

tabla 4.2

4.7 HERRAMIENTAS DE MONTAJE Y DESMONTAJE

Las herramientas mecánicas se utilizan fundamentalmente para montar y desmontar rodamientos pequeños; siempre deben ser utilizadas con cuidado a fin de evitar dañar los rodamientos, ejes o cualquier otro componente.

El método de inyección de aceite consiste en inyectar aceite a elevada presión entre el asiento del rodamiento y el anillo interior, con lo que forma una película que separa estos elementos. El aceite llega a la superficie de estos conductos (a) en el eje y se distribuye por ranuras (b). La tuerca hidráulica se adapta a una rosca en el eje o manguito se inyecta aceite en la tuerca (c), de modo que el émbolo anular (d) presione el anillo interior del rodamiento. En aquellos casos en los cuales no pueden utilizarse herramientas hidráulicas, ni el método de inyección de aceite, generalmente la única opción consiste en aplicar calor a los rodamientos o los anillos antes de montarlos o desmontarlos.

4.8 ALMACENAMIENTO

Para evitar paradas prolongadas por causas de eventuales averías en los rodamientos, hay que cerciorarse de que es fácil disponer de rodamientos de recambio, y por ello es conveniente averiguar desde un principio qué rodamientos integran la maquinaria, y se requiere alguna herramienta especial para montaje o desmontaje. Entérese por el distribuidor de los rodamientos si éstos pueden ser suministrados con suficiente rapidez; en caso contrario, deberá tenerse un cuidadoso programa de mantenimiento, de modo de abastecerse de tales rodamientos a un tiempo prudencial.

CAPITULO V

SELECCIÓN DE RODAMIENTOS PARA UN TRANSPORTADOR DE BANDA, CASO ESPECIFICO

5.1 RECONOCIMIENTO DE LA NECESIDAD

En los sistemas de producción en los cuales se utilizan sistemas de transporte continuo para llevar o traer materia prima de un lugar a otro, una parada no programada significa grandes pérdidas para la producción; si bien es cierto que nos todos los problemas en la planta son predecibles, estadísticamente algunos pueden ser esperados, tal es el caso de los rodamientos en los cuales es posible hacer un análisis de **vida esperada**, es decir, que se puede saber en un alto porcentaje lo que se espera de rendimiento en un rodamiento, lo cual no quiere decir que nunca se dará una falla.

Pero, por qué hacer un análisis de **vida esperada** en un rodamiento, si basta en algunos casos con tomar un catálogo del fabricante y elegir el que a conveniencia dimensional y de carga, supuestamente puede ser el adecuado. En la práctica, suele darse mucho esto sustituyéndose rodamientos por otros de similares características, con lo cual el diseño original viene a ser distorsionado, por no encontrarse el adecuado en bodega o en el mercado local. Es aquí entonces en donde se justifica la selección porque ésta nos dará un margen de rendimiento y como consecuencia programar una parada para el cambio de dicho elemento, y por supuesto tenerlo preparado en cualquier momento para sustituirlo, cuando así lo indique una revisión de mantenimiento periódico.

5.2 ESPECIFICACIONES Y REQUISITOS

Se desea construir (fabricar) un transportador de banda bajo las siguientes consideraciones:

- Longitud 25 pies
- Ancho de banda 24 pulg.
- Ángulo de inclinación 25 grados

- Velocidad en la banda 104 pies/min
- Velocidad angular del eje N= 79 RPM
- Motor eléctrico 1 Hp. 1765 RPM
- Rodos de cola y cabeza de 5 pulg. dia. de tubo C-40 de 25 pulg. de long.
- Tapas de los rodos de chapa de 1-¼ pulg.
- Eje cold-roll 1-7/16 pulg.

5.3 CÁLCULOS

Primeramente se procede a calcular los pesos de cada uno de los elementos que harán trabajo sobre el rodamiento.

a.- Para los rodos de cabeza tubo cédula 40, tiene un peso $W = 14,62$ lbs/pie y una longitud de 26" de donde:

$$W_k = 14,62 \text{ lb/pie} * \left(\frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pul}} \right) * 26 \text{ pulg} = 31,46 \text{ lbs}$$

entonces:

$$W_k = 31,46 \text{ lbs.}$$

b.- Para las caras laterales (tapaderas) del rodo, se utiliza lámina de acero de 4¼" de diámetro por 1¼" de espesor y un peso específico p.e. = 489,6 lbs/pie³

$$A_k = \pi * (2,25)^2 = 15,90 \text{ pulg}^2$$

$$V_k = 15,90 \text{ pulg}^2 * 1 \frac{1}{4} \text{ pulg} = 15,88 \text{ pulg}^3$$

$$W_k = 489,6 \text{ lbs/pie}^3 * 15,88 \text{ pulg}^3 * \frac{1 \text{ pie}^3}{(12 \text{ pulg})^3} = 5.63 \text{ lbs}$$

entonces:

$$W_t = 5,63 * 2 = 11,26 \text{ lbs.}$$

c.- Para el eje de Cold-roll de 37 pulg de largo y un peso

$$W_s = 0,46 \text{ lbs/pulg para un diámetro de } 1\text{-}7/16 \text{ ",}$$

$$W_s = 37" * 0,46" = 17,02 \text{ lbs.}$$

entonces:

$$W_s = 17,02 \text{ lbs.}$$

d.- Para el reductor que va directamente montado sobre el eje, se tiene un $W_d = 39 \text{ lbs.}$

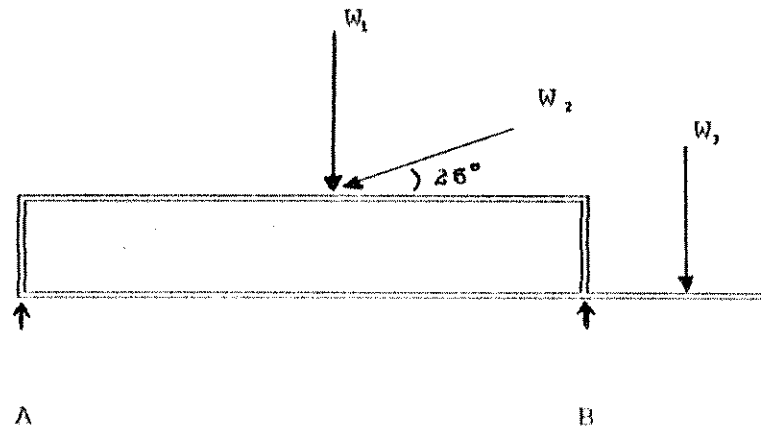
e.- Se tiene un factor de tensión en el lado tirante de 849,53 lbs. (Valor teórico dado)

$$W_{tt} = 849,53 \text{ lbs.}$$

Como segundo paso se procederá a esquematizar las fuerzas involucradas en el sistema, que se tratará como una viga rígida montada sobre dos soportes llamados "A" y "B", y la magnitud de tales fuerzas sobre los soportes "A" y "B" que representan a los rodamientos en ambos extremos del eje de cabeza; la razón de tomar el rodo de cabeza para el análisis es porque en el se ven involucradas la mayor parte de las fuerzas y es el impulsor del movimiento en la banda.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUAYAMA
BIBLIOTECA CENTRAL

a.-



$$\text{Sea } W_1 = W_v + W_c + W_s \quad \text{y}$$

$$W_2 = W_c \quad ; \quad W_3 = W_{ra}$$

Se calcularán las fuerzas por igualación de momentos, en los puntos de soporte "A" y "B"

b.- Calculando para "A"

$$\Sigma M_a = 0 \uparrow \text{ actuando verticalmente}$$

$$-A*28 + W_1*14 - W*5 = 0 \quad \text{sustituyendo valores}$$

$$A = \frac{-39*5 + 59,74*14}{28} = 22,90 \text{ lbs.}$$

Fuerza vertical aplicada en A = 22,90 lbs.

$$\Sigma M_a = 0 \uparrow \text{ actuando a } \theta = 25^\circ$$

$$A*28 - W_2*14 = 0 \quad \text{sustituyendo valores}$$

$$A = \frac{849,53 \cdot 14}{28} = 424,76 \text{ lbs.}$$

$$A = 424,76 \text{ lbs. @ } 25^\circ$$

El valor de la fuerza resultante entonces será de:

$$F_{VA} = 424,76 \cdot \text{SEN } 25 = 179,51 \text{ lbs.}$$

$$F_{HA} = 424,76 \cdot \text{COS } 25 = 384,96 \text{ lbs.}$$

$$F_{CA} = \sqrt{(384,96)^2 + (179,51)^2}$$

$$F_{CA} = 434,93 \text{ lbs.}$$

c.- Calculando para "B"

$$\Sigma M_A = 0 \uparrow \text{ actuando verticalmente}$$

$$- F_1 \cdot 14 + B \cdot 28 - F_2 \cdot 33 = 0 \quad \text{sustituyendo valores}$$

$$B = \frac{59,74 \cdot 14 + 39 \cdot 33}{28} = 75,83 \text{ lbs.}$$

Fuerza vertical aplicada en B = 75,83 lbs

$$\Sigma M_A = 0 \uparrow \text{ actuando a } \theta = 25^\circ$$

$$B \cdot 28 - 849,53 \cdot 14 = 0 \quad \text{sustituyendo valores}$$

$$B = \frac{849,53 \cdot 14}{28} = 424,76 \text{ lbs.}$$

$$B = 424,76 \text{ lbs. @ } 25^\circ$$

El valor de la fuerza resultante entonces será de:

$$F_{vb} = 424,76 \cdot \text{SEN } 25 = 179,51 \text{ lbs.}$$

$$F_{hb} = 424,76 \cdot \text{COS } 25 = 384,96 \text{ lbs.}$$

$$F_{tb} = \sqrt{[(384,96)^2 + (179,51)^2]}$$

$$F_{tb} = 461,94 \text{ lbs.}$$

De donde el efecto de las cargas sobre los soportes será de:

$$A = 434,93 \text{ lbs.} \quad B = 461,94 \text{ lbs}$$

Ahora se procede a determinar tipo, tamaño y durabilidad del rodamiento que necesitaremos.

- Seleccionando el tipo y tamaño de rodamiento

a.- Como primer paso se procede a analizar la figura 3.1, que es una guía de selección rápida del tipo de rodamiento, se plotean los puntos $N = 79 \text{ rpm}$ vs. $B = 461,94 \text{ lbs.}$, se ha tomado el valor de mayor magnitud por conveniencia y seguridad en el diseño; el resultado preliminar arroja un rodamiento de bolas,

y alrededor de este tipo de rodamientos se trabajará.

b.- Ahora deberá calcularse la carga equivalente para varios tipos de rodamientos de bolas, tales como de una y dos hileras de bolas, y de rodamiento rígido y a rótula, mediante la fórmula:

$$P = XV F_r + Y F_a$$

donde:

P = Carga equivalente, lb

F_r = Carga radial, lb

F_a = Carga de empuje (axial), lb

V = Factor de rotación: 1,0 para anillo interior girando,
1,2 para anillo exterior girando, para rodamientos a
rótula utilizase 1 en ambos casos

X = Factor de carga radial, véase tabla 3.5

Y = Factor de carga axial, véase tabla 3.5

los valores escogidos para X y deberán ser los que den el mayor valor de carga, al sustituir valores se tiene que:

$$P = 1,0 * 1,0 * 461,94 + 0,0 * 0,0 = 461,94 \text{ lbs.}$$

Este valor es, para rodamientos de una hilera de bolas a rótula, el valor para un rodamiento de doble hilera de bolas y rígido; en este caso será exactamente el mismo; el lector podrá comprobarlo, y por lo tanto, se obvia dicho cálculo.

c.- Se calcula ahora la capacidad de carga requerida para los mismos tipos de rodamientos que en el inciso anterior mediante la fórmula:

$$C_r = \frac{P (L_{10h} * N)^{1/k}}{Z}$$

Donde:

N = Velocidad de rotación en el rodamiento, rpm.

Z = Constante 25,6 para rodamientos de bolas,
18,5 para rodamientos de rodillos.

k = Exponente de la fórmula de vida

k = 3 para rodamientos de bolas

k = 10/3 para rodamientos de rodillos

L_{10h} = Vida nominal, (teórica) en horas de servicio
véase tabla 3.7

sustituyendo valores tenemos que:

$$C_r = \frac{461,94 * (30000 * 79)^{1/3}}{25,6} = 2405,81$$

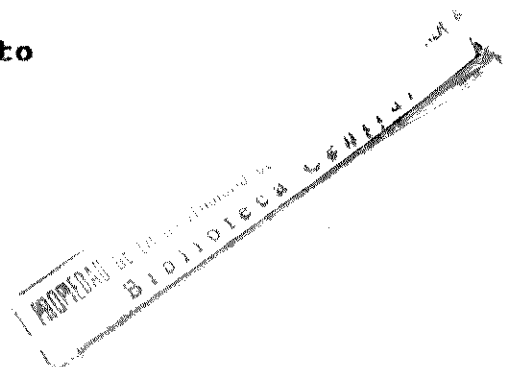
El valor de $C_r = 2405,81$ será el mismo para rodamientos de una y de dos hileras de bolas, ya que los parámetros son los mismos para ambos tipos de rodamientos.

d.- Dado el valor de la carga requerida, se compara con los de la tabla 3.4, para encontrar cuál se aproxima al diámetro requerido y valor correspondiente de C :

Para la serie 200 $d = 25 \text{ mm.} \cong 1"$, de donde se deduce que el diámetro que se está utilizando en el eje es adecuado.

- Determinación de la vida del rodamiento

Habiéndose determinado en su orden:



- a.- Selección del rodamiento (tipo y tamaño)
- b.- Carga radial equivalente
- c.- Capacidad de carga básica a través de C_r
- d.- Calculamos la Vida Nominal L_{10} y L_{10h} por medio de las

fórmulas:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^k * 10^6 \quad \text{ó} \quad L_{10h} = \frac{16,700}{N} \left(\frac{C}{P}\right)^k$$

donde:

- L_{10} = Vida nominal, en millones de revoluciones
- C = Capacidad de carga dinámica, en lb.
- P = Carga dinámica equivalente, en lb.
- k = Exponente de la fórmula de vida
 - $k = 3$ para rodamientos de bolas
 - $k = 10/3$ para rodamientos de rodillos
- L_{10h} = Vida nominal, en horas de servicio
- N = Velocidad de giro, en revoluciones por minuto

Sustituyendo valores se tiene que:

$$L_{10} = \left(\frac{3360}{461,94}\right)^3 * 10^6 = 384,82 \times 10^6, \text{ revoluciones}$$

$$L_{10h} = \frac{16700}{274} \left(\frac{3360}{461,94}\right)^3 = 23454,54 \text{ hrs}$$

e.- Ahora se procede a calcular la vida nominal ajustada en el rodamiento mediante la fórmula:

$$L_{..n} = a_1 * a_2 * a_3 * \left(\frac{C}{P} \right)^{\gamma}$$

o simplemente:

$$L_{..n} = a_1 * a_2 * a_3 * L_1$$

Donde:

$L_{..n}$ = Vida nominal ajustada, en millones de revoluciones
(El sub-índice n representa la diferencia entre la fiabilidad requerida y el 100%)

a_1 = Factor de ajuste de vida, o fiabilidad
 a_2 = Factor de ajuste de vida, por material
 a_3 = Factor de ajuste de vida, por condiciones de funcionamiento

Los valores para los factores de ajuste de vida vienen limitados por un serie de circunstancias anteriormente mencionadas, (véase secciones 3.2.5.1 a 3.2.5.4), de manera que los valores aplicados según el criterio de rendimiento y eficiencia promedio serán:

$a_1 = 1,00$ correspondiente a un 90%

$a_2 = 0,90$

$a_3 = 0,80$

Sustituyendo valores, se tiene que:

$$L_{..n} = 1,00 * 0,90 * 0,80 * 23454,54 = 16887,26 \text{ hrs}$$

Ahora que están definidos los parámetros en cuanto a carga, tipo, tamaño y vida o rendimiento esperado, se consulta el catálogo del fabricante, en nuestro caso específico y debido a las condiciones del medio ambiente en el cual operaran se necesitaran:

Para los rodos de cabeza

- Rodamientos de bolas

- Para montaje sobre soporte tipo flange (brida)
- Con tapas de protección y/o obturación
- Diámetro interior 1-7/16"
- Como alternativa puede usarse soportes tipo SHN o de pie

Para los rodos de cola

- Rodamientos de bolas
- Para montaje sobre soporte tipo corredera
- Con tapas de protección y/o obturación
- Diámetro interior 1-7/16"

JUSTIFICACIÓN

A partir de la información dada, se puede pedir el rodamiento a cualquier distribuidor o el que el diseñador así lo crea conveniente; por razones obvias en este trabajo, no se mencionan nombres de marca ni designaciones, ya que cada fabricante tiene la suya propia.

Respecto a los valores de los factores de ajuste el lector, se preguntará cuál fue el criterio utilizado:

Para a_1 , el valor es una constante ya dada por cualquiera de los fabricantes que va íntimamente relacionado con L_{10} , el lector podrá hacer su propia comprobación.

Para a_2 , se ha tomado el criterio, al igual que el factor anterior, que el 0,90% es el punto máximo teórico de rendimiento.

Para a_3 , se justifica el valor si se toma en cuenta que pueden existir problemas debidos a un montaje inadecuado por parte del operador; a esto hay que agregarle las condiciones de alta humedad en el ambiente y vapores que incluyen residuos de agregados químicos, tales como alcohol y sabores, entre otros, y lavadas con chorro de agua a presión (75psi-125psi) semanalmente como parte del mantenimiento, debido a la naturaleza de la materia prima utilizada en la elaboración del producto terminado.

5.4 ELEMENTOS PARA EL MONTAJE

Para montar rodamientos en soportes tipo flange, (brida) y de corredera deberán seguirse las instrucciones dadas en la sección, 4.5, Montaje de rodamientos, además de alguna otra recomendación específica que de el fabricante, de suerte que cada caja en la cual viene almacenado el rodamiento y su soporte viene acompañada de instrucciones de manejo como de montaje, aunado con la sección 4.5 el montaje será hecho correctamente.

Deberá tomarse en cuenta que la carga radial admisible no esta determinada, en este caso, por la resistencia del soporte, sino por la capacidad de carga del rodamiento, por lo cual es importante el tipo y grado del tornillo que se usará para la fijación del soporte y para la solidez del mismo.

5.5 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

5.5.1 Inspecciones

Dado que los rodamientos que se van a utilizar, montados sobre flange o soporte tipo corredera, vienen sellados u obturados de fabrica, es importante señalar que hay que hacer una inspección minuciosa en cada mantenimiento ya que sus elementos interiores no son visibles mas que por ruidos raros y altas temperaturas; en el caso de los soportes del tipo SHN o de pie ésta es una ventaja ya que todos los elementos del mismo son visibles permitiendo el desmontaje y montaje de los mismos durante una parada por mantenimiento preventivo, si las circunstancias asi lo requieren y según la rutina de mantenimiento.

5.5.2 Lubricación

En los rodamientos que llevan las obturaciones montadas sobre los anillos, existe la ventaja que trabajan sin mayor inspección de lubricación dada su naturaleza; En los rodamientos montados sobre

soportes del tipo SHN o de pie y de brida con obturaciones o sellos en el flange o brida, están diseñados para lubricación con grasa; no se requiere desmontaje sino hasta cierto periodo de tiempo.

En los primeros sólo se requiere de limpiezas periódicas superficialmente; en los segundos vienen diseñados para lubricación con grasa. En la mayoría de los casos, la cantidad de grasa aportada en el montaje o en una revisión es suficiente para el tiempo que transcurra hasta la revisión siguiente. Para aplicaciones que requieran una relubricación más frecuente, el soporte dispone de un boquilla de lubricación; no se recomienda el cambio de grasa en periodos menores de 6 meses a menos que se crea que existe alguna contaminación en la misma.

CAPITULO VI

TECNOLOGÍA DE LOS RODAMIENTOS

6.1 DISEÑO Y MANUFACTURA

6.1.1 Contacto Rodante

Los elementos básicos en un rodamiento son cuatro:

- 1.- Anillo interior
- 2.- Anillo exterior
- 3.- Bolas o rodillos
- 4.- Separador (jaula de bolas)

Tres de estas partes: el anillo interior y el exterior, y, las bolas o rodillos, soportan la carga en el rodamiento; la cuarta parte, el separador del rodamiento sostiene la posición de los elementos rodantes. Este simple mecanismo de cuatro elementos es un componente vital de prácticamente todas las formas del diseño dinámico, y asume caracteres más complejos a medida que lo examinemos más ampliamente.

Algunos de los factores que se deben considerar en el diseño de los rodamientos están relacionados directamente con la zona de contacto rodante, áreas de contacto, esfuerzos de contacto, deformaciones elásticas y la fricción por deslizamiento. Mientras la fricción en el rodamiento puede aproximarse a cero, algún grado de fricción por deslizamiento puede existir en todos los elementos rodantes. Los componentes del rodamiento, si bien están hechos de acero endurecido, son cuerpos elásticos bajo carga y reaccionan acordeamente. Esto puede ser visualizado creyendo que los elementos del rodamiento fueran hechos de goma; en este caso, un rodillo estacionario bajo carga podría aparecer como se muestra en la figura 6.1

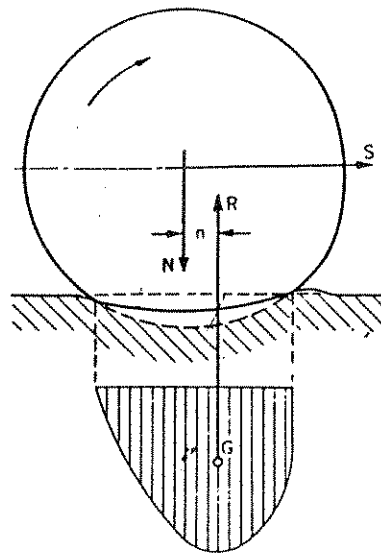
Con la introducción del movimiento el mismo rodillo, podría verse cómo se muestra en la figura 6.2; aquí existe una continua flexión y una onda en movimiento del material enfrente y detrás de

la zona de contacto. En esta zona de contacto deformada, se da resbalamiento y también se dará un deslizamiento por fricción. Este resbalamiento ocurre cuando puntos diferentes de la superficie del cuerpo en movimiento atraviesan diferentes distancias de arco en el mismo incremento del tiempo.

6.1.2 Diseño del rodamiento

La deformación elástica, el esfuerzo de contacto del rodamiento, la fricción por rozamiento y deslizamiento, y el área de contacto son algunos de los parámetros que se deben considerar en el desarrollo de los rodamientos para una satisfactoria operación en los niveles térmicos y de esfuerzo. Determinados estos factores, se puede encontrar y controlar apropiadamente la curvatura del anillo de rodadura o pista. Una línea de contacto entre el rodillo y anillo de rodadura, por ejemplo, distribuye la carga virtualmente sobre toda la longitud del elemento rodante. En la práctica, no obstante la línea de contacto puede algunas veces resultar en el borde del fenómeno de carga y de una gran concentración de esfuerzos, como se ilustra en la figura 6.3. Los rodamientos deben ser diseñados con alguna geometría que proporcione un esfuerzo uniformemente distribuido, a través de toda la longitud de los elementos rodantes más cargados a los niveles de carga de diseño.

Los esfuerzos de contacto también están influenciados por el espacio entre rodamientos. En un rodamiento radial de bolas, bajo una carga radial dada, la bola que está en el punto de máxima concentración transmite más carga que las otras. El esfuerzo en esta bola variará significativamente con la variación del espacio. Por ejemplo, un rodillo montado con ninguna separación, podrá bajo carga tener un desplazamiento radial y distribución correspondiente de carga indicada en la figura 6.4.



DEFORMACION DE UN ELEMENTO RODANTE Y DIAGRAMA DE LAS REACCIONES ELASTICAS.

fig. 6.1

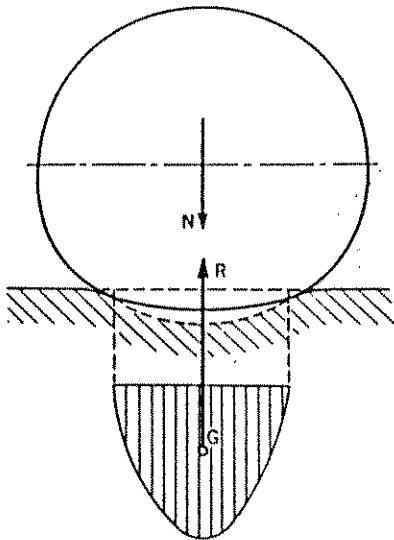
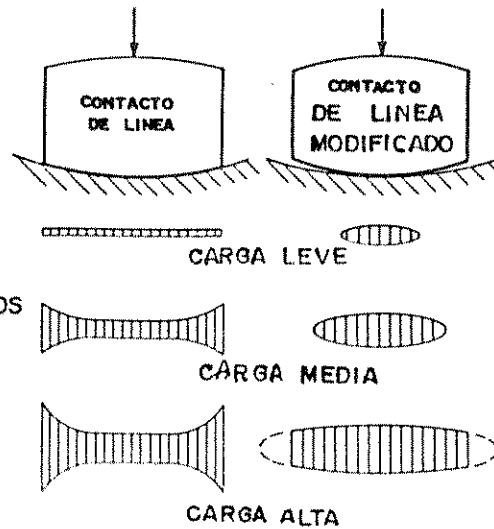


fig. 6.2

fig. 6.3

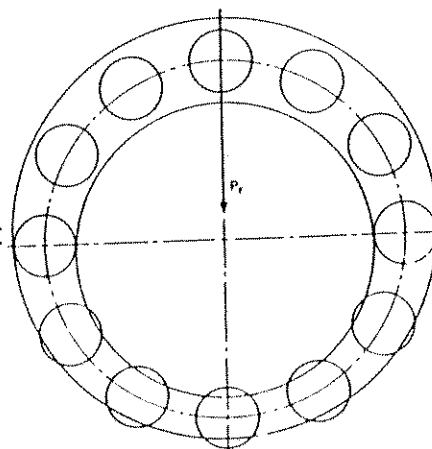
DEFORMACION DE UN ELEMENTO ESTACIONARIO Y DIAGRAMA DE LAS REACCIONES ELASTICAS.



MODELOS DE ZONAS DE CONTACTO AUMENTADOS MUESTRA LA DIFERENCIA ENTRE EL CONTACTO DE LINEA Y EL CONTACTO DE LINEA MODIFICADO

fig. 6.4

DESPLAZAMIENTO RADIAL EN UN
RODAMIENTO DE BOLAS SIN PASO
LIBRE BAJO EL EFECTO DE UNA
CARGA APICADA EXTERNAMENTE



6.1.3 Materiales

Los rodamientos de bola (excepto jaulas, sellos y separadores de bolas) comúnmente se hacen de acero **SAE 52100** (o **AISI-52100**), que es un acero de alto carbón al cromo con dureza **Rockwell C 58-65**. Debido a la pérdida de dureza con el aumento de la temperatura, el **SAE 52100** no puede usarse donde la temperatura sea mayor a 350°F . Para aplicaciones de corrosión, es muy común usar acero inoxidable martensítico, grado **440C**. Según los análisis metalúrgicos, un acero anticorrosivo está "restringido" a trabajar a temperaturas no mayores a 300°F . Para temperaturas mayores de 300°F , la dureza es de valor menor a la **Rockwell C 58** y perjudicaría a la superficie de rodadura del rodamiento.

Por lo general, los aceros para rodamientos son fabricados con aceros de endurecimiento superficial (o sea, de grado de carburización). Estos aceros tienen endurecimiento superficial **Rockwell C 58-63** a una profundidad no mayor de 0.015 plg. después de esto se tiene un núcleo suave de dureza **Rockwell C 25-40**.

Los grados de carburización (por ejemplo, AISI 4620) están limitados a trabajar a temperaturas no mayores de 300°F. Sin embargo, con la investigación metalúrgica, se han obtenido aceros para rodamientos de grado de carburización adecuados para trabajar a temperaturas mayores. Los separadores o jaulas normalmente están fabricadas de acero 1010. Sin embargo, para uso en temperaturas elevadas (hasta 700°F), los separadores se hacen de M_1, S-MONEL, 440C, de polímeros o poliamida (hasta 700°F), de aleación de cobalto y de aleación de cobre, tales como bronce o bronce-hierro silicio-plateado; materiales que han sido usados con mucho éxito. Para condiciones ambientales corrosivas ligeras, es común usar acero inoxidable grado 302, 410 para el material del separador. El material de los sellos usados para retener el lubricante en los rodamientos "autolubricados" es acero de bajo carbón, tal como 1010. Dependiendo del fabricante y del rodamiento en particular, los sellos podrán ser, ya sea completamente moldeados en un compuesto de hule sintético o simplemente recortados de este material; también es muy común hacer los sellos de fieltro prensado entre dos anillos metálicos.

6.1.4 Manufactura

La manufactura de los diferentes tipos de rodamientos, por lo general involucra 4 etapas básicas:

- 1.- Primera forma
- 2.- Tratamiento térmico
- 3.- Forma final
- 4.- Ensamble

Muchos de los equipos utilizados para estas operaciones ha sido diseñados por industrias especializadas en la manufactura de rodamientos o en industrias constructoras de equipos diversos.

La primera etapa del proceso de formación es el punto de partida y fundamental para la calidad de la parte final. Los anillos son formados de sólidas barras, tubería sin costura o aros forjados en máquinas de múltiples ejes, tornos automáticos y

máquinas de control automático de conteo. Las bolas y rodillos son de alambre o barras roladas en frío. Las medidas de los esquinamientos en los anillos, interior y exterior, del rodamiento para poder casar en los ejes de medidas normalizadas, chumaceras y filetes, son directamente controlados en el proceso de la primera forma. El tratamiento térmico en los anillos y elementos rodantes se hace en hornos de atmósferas controladas, de medio temple y tratamientos moderados. Las duras y resistentes estructuras metalúrgicas relacionadas entre sí, proveen a cada componente del rodamiento con la requerida y básica resistencia. El éxito en el tratamiento térmico de los componentes del rodamiento va a depender de un preciso control en las temperaturas y atmósferas, tanto de calentamiento como de enfriamiento.

La etapa del proceso final involucra la generación de contornos y tamaños con exactitud de una millonésima de pulgada. Algunas de las técnicas utilizadas son:

- a.- Calzado por esmerilado excéntrico
- b.- Esmerilado cruzado
- c.- Esmerilado de fuerza controlada con revestimiento de diamante rotativo
- d.- Rectificado con cámara geométrica
- e.- Acabado vibratorio y rotativo de tambor

Los procesos finales de rectificación son diseñados para una exactitud tan pequeña como 1×10^{-4} para adecuarse a la exactitud de la superficie de curvatura medible únicamente con instrumentos de precisión.

Los componentes de los rodamientos son sujetos a inspecciones rígidas y planes de muestreo estático en cada operación antes de alcanzar la etapa de ensamble. Para ensamblar los varios tipos de rodamientos, son necesarias mediciones adicionales de los tamaños de los caminos de curvatura para completar el ensamble, al tamaño de los espacios especificados para el distanciamiento interno. El muestreo final de inspección sirve para detectar sonido por vibración, seguido de limpieza, conservación lubricación y sellado, que completan el ciclo de manufactura.

6.1.5 Mediciones

El control de calidad en cualquier proceso de manufactura depende de la exactitud y precisión de las mediciones, las cuales deben realizarse con instrumentos que permitan una 0.000001 " de exactitud para asegurar el resultado final del rodamiento, y evitar así las piezas defectuosas que no pueden ser reparadas.

6.1.6 Estandarización

Los fabricantes y usuarios de rodamientos están interesados, por razones de costo, calidad, disponibilidad, mantenimiento de toda clase de equipo, maquinaria y dispositivos, en limitar el número de tamaños en los rodamientos. La **AFBMA** es la organización responsable de establecer y publicar los diferentes estándares, así como hacer las mediciones cuando esto sea necesario, en lo que respecta a los rodamientos.

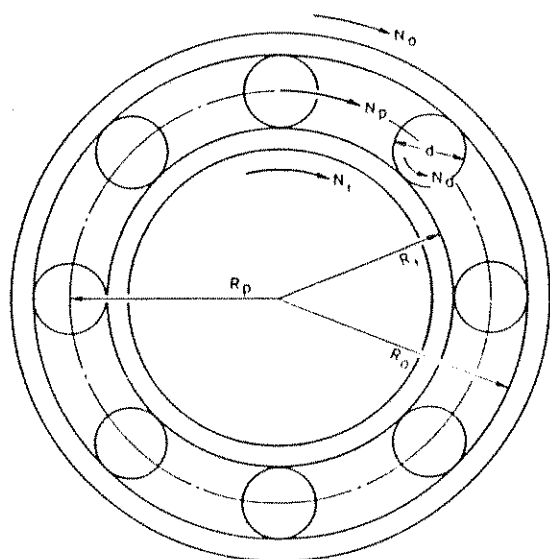
Los estándares actuales han sido revisados y actualizados por la **AFBMA** en cooperación con **ABEC**, la **BMEC** y **ANSI**, (consúltese los catálogos de los fabricantes).

6.2 CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

6.2.1 DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

La dinámica de los rodamientos junto a la fuerza y al movimiento prevalecen en la operación de los rodamientos. Algunas de estas fuerzas y movimientos son discutidos en la sección 6.1.2 en contacto rodante. Está demostrado que en los rodamientos algún grado de deslizamiento ocurrirá en la zona de contacto rodante.

Las fuerzas de fricción desarrolladas en las áreas de deslizamiento están raramente en balance con el equilibrio estático



VELOCIDADES DE LOS COMPONENTES
DEL RODAMIENTO CON MOVIMIENTO
ROTATIVO ÚNICAMENTE :

Para rotación del anillo interior =
anillo exterior estacionario:

$$N_p = 0.5 N_i \left(1 - \frac{d}{2R_p}\right) \quad N_d = N_i \left(\frac{2R_i}{d}\right)$$

Para rotación del anillo exterior =
anillo interior estacionario:

$$N_p = 0.5 N_o \left(1 + \frac{d}{2R_p}\right) \quad N_d = N_o \left(\frac{2R_o}{d}\right)$$

fig. 6.6

del elemento rodante. Una pequeña fuerza de torque podría generalmente prevalecer, y crear un efecto de patinaje en los rodamientos de bolas y un efecto de sesgo en los rodamientos de rodillos. Los sesgos en los rodillos intentan desviar al rodillo de su normal recorrido del camino de rodadura. Una guía media es por lo tanto provista en la forma de flange, anillo o retenedor.

Otras fuerzas presentes dentro de los rodamientos son de efectos giroscópicos y centrífugos. La fuerza giroscópica generalmente no es significativa excepto en extremadamente altas velocidades de rodamientos; la fuerza centrífuga puede afectar las bolas o rodillos moviendo o guiando fuerzas en un amplio y determinado rango de velocidades, pero el efecto sobre la carga de rodamiento es generalmente un factor significante, únicamente en velocidades extremadamente altas.

Las velocidades radiales o angulares de los elementos de rodamientos y la velocidad rotacional del retenedor pueden ser calculadas a través del paso del rodamiento y el diámetro de los elementos rodantes, como se ilustra en la fig. 6.5, velocidad de elementos con rotación pura, para rotación del anillo interior el exterior esta estacionario y viceversa. La relación del movimiento

es similar al sistema planetario de engranajes o rueda dentada; generalmente la velocidad del retenedor o elementos rodantes estarán dentro del rango de 40% a 60% de la rotación del camino de rodadura.

6.2.2 Momentos en los rodamientos

El torque del rodamiento es la resistencia friccional del rodamiento a la rodadura, y puede ser usada para estimar los requerimientos de energía o disipación de calor del rodamiento. Esta resistencia friccional está influenciada por muchos factores; los más importantes de ellos son: la lubricación, diseño del rodamiento y la carga del mismo. En la práctica, un coeficiente constante de fricción está descrito en la tabla 3.1.1 (promedio de coeficientes de fricción medidos en la superficie, en el arranque y rotando, del eje), los cuales son generalmente conservativos para rangos de operación normal del rodamiento adecuadamente lubricados sin sellos. (Véase sección 3.3)

6.2.3 Causas de vibración en los rodamientos

Las causas comunes de ruido son frecuentemente vistas ú oídas superficialmente, una lista de los factores que contribuyen a establecer problemas de vibración en áreas, repetidamente, incluye:

- 1.- Grandes áreas de lamina metálica mal apoyada o asegurada
- 2.- Cunas o carcasas inadecuadamente aseguradas o apoyadas
- 3.- Rodamientos inadecuadamente ensamblados a ejes o cunas
- 4.- Poleas o engranajes flojos en los ejes
- 5.- Fajas inapropiadamente tensionadas
- 6.- Cuñas flojas en los cuñeros
- 7.- Ejes deformados o desgastados por el balance
- 8.- Desbalance
- 9.- Poleas con ranuras desgastadas que provocan un efecto de patinaje

6.2.4 Manejo de precarga

El control de precarga en los rodamientos es básico para los requerimientos de ensamble en los ejes. Cada disposición de rodamientos requiere de una holgura de funcionamiento positiva o negativa, según la aplicación. En la mayoría de los casos, la holgura de funcionamiento debe ser positiva, es decir, aunque pequeña, el rodamiento al girar debe tener una determinada holgura residual. Sin embargo, hay muchos casos en los que es preferible una holgura de funcionamiento negativa, es decir, una precarga, con objeto de aumentar la rigidez de la disposición de rodamientos o incrementar la exactitud de giro.

Los principales efectos de la precarga del rodamiento son:

- 1.- Aumentar la rigidez
- 2.- Reducir el ruido en funcionamiento
- 3.- Aumentar la exactitud del guiado del eje
- 4.- Compensar el desgaste y el asentamiento debido al funcionamiento
- 5.- Prolongar la vida de servicio

6.2.5 Características térmicas

La temperatura de operación de los rodamientos está gobernada por muchos factores. La característica de generación de calor en los rodamientos es una función puramente de el torque y la velocidad, las cuales pueden usualmente ser estimadas en un grado razonable; a ello deberá sumarse la influencia del calor del ambiente en la temperatura de la máquina; esto es el viento y otras fuentes de calor cercanas como maquinas, ejes, etc.

6.3 RANGOS DE VIDA

6.3.1 Criterio de los rangos

Un método de establecimiento de los rangos de un rodamiento permite una válida comparación entre varios tipos y marcas de rodamientos. La asociación de fabricantes de rodamientos (AFBMA) ha adoptado estándares desarrollados por sus compañías miembros, tal como el U.S.A B.311-1959, aprobado también por el instituto nacional de estándares americano (ANSI).

Existen dos rangos asociados con los elementos rodantes de un rodamiento, aparte de otros, los cuales son, el rango de carga básica o dinámica C , y el rango de carga estática C_0 . Estos rangos han sido calculados por la ANSI, por las fórmulas siguientes:

Para rodamientos de bolas

$$C_0 = f_1 Z D^3 \cos x$$

$$f_1 = 1780 \text{ (lbs. y pulg.) o } 12.3 \text{ (Newton y mm.)}$$

$$C = f_2 (i \cos x)^{1/3} Z^{2/3} D^{1/3}$$

para bolas mayores de 1" de diámetro usar D^4

Para rodamientos de rodillos

$$C_0 = f_1 Z l_{r,c} D \cos x$$

$$f_1 = 3130 \text{ (lbs. y pulg.) o } 21.6 \text{ (Newton y mm.)}$$

$$C = f_2 (i l_{r,c} \cos x)^{1/3} Z^{2/3} D^{2/3}$$

donde:

C = Rango de carga dinámica, lbs.(mm)

C_0 = Rango de carga estática, lbs.(mm)

t_c = Factor, que depende de la geometría y materiales

t_r = Factor, que depende del tipo de rodamiento

i = Número de hileras de elementos rodantes

z = Número de elementos rodantes por hilera

- x = Ángulo de contacto del rodamiento, grados
 D = Diámetro de los elementos rodantes, pulg. (mm)
 L_{e} = longitud efectiva de contacto entre el rodillo y el anillo, en pulg. (mm)
 d_m = Diámetro de paso de los elementos rodantes, pulg. (mm)

La determinación de cada uno de estos valores deberá consultarse con el fabricante para mayor exactitud de resultados.

6.3.2 Confiabilidad

El rango de vida es realmente un factor de confiabilidad, porque hay probabilidad en un 90% que un rodamiento podría igualar a otro o exceder a dar un número de revoluciones. En la tecnología moderna, el 90% de confiabilidad es algunas veces no aceptado y otros niveles de confiabilidad deberán ser considerados.

Continuando con la búsqueda de mejores diseños, materiales y otros métodos, se está incrementando constantemente la confiabilidad en los diferentes tipos de elementos rodantes de los rodamientos. Por esta razón, las aplicaciones que requieren un alto grado de confiabilidad deberán ser revisadas por los fabricantes de rodamientos; deberá recordarse siempre que la confiabilidad y el rango de vida son conceptos aplicados estrictamente a la fatiga por vida estática, la cual puede ser apreciablemente diferente a la vida de operación.

6.4 ANÁLISIS DE CARGA

Es esencial conocer con exactitud la capacidad para soportar carga y la duración esperada para seleccionar en forma apropiada los rodamientos de bolas y rodillos. Los rodamientos que están sujetos a millones de aplicaciones de esfuerzos fallan debido a la fatiga. De hecho, la fatiga es la única causa de la falla, si el rodamiento es apropiadamente lubricado, montado y sellado contra la

entrada de polvo y suciedad, y se mantiene en esta condición.

6.4.1 Carga axial

Los rodamientos axiales de bolas y los rodamientos de bolas de cuatro puntos de contacto son del tipo más adecuado para cargas axiales puras pequeñas y moderadas. Los rodamientos axiales de bolas de simple efecto sólo pueden soportar cargas axiales en un sentido, y cargas radiales simultáneamente; para cargas axiales en ambos sentidos, se necesitan rodamientos de doble efecto y se usan sólo para cargas axiales puras. Los rodamientos axiales de bolas con contacto angular pueden soportar axiales moderadas a altas velocidades. Para cargas axiales moderadas y pesadas actuando en un solo sentido, los rodamientos más adecuados son: axiales de agujas, axiales de rodillos cilíndricos y los de rodillos cónicos de simple efecto.

6.4.2 Carga radial

Con la excepción de los rodamientos de rodillos cilíndricos sin pestañas en alguno de sus aros y de los rodamientos radiales de agujas que sólo son adecuados para cargas estrictamente radiales, todos los demás rodamientos radiales pueden soportar tanto cargas radiales como axiales.

6.4.3 Cargas combinadas

Una carga combinada consta de una carga radial y una carga axial que actúan simultáneamente. La capacidad que tiene un rodamiento de soportar una carga axial está determinada por su ángulo de contacto α ; cuanto mayor es este ángulo, tanto más adecuado es el rodamiento para soportar carga axial. El factor de cálculo Y que disminuye al aumentar el ángulo de contacto, proporciona una indicación de esta capacidad. Para soportar cargas combinadas, se usan principalmente los rodamientos de bolas con

contacto angular de una o dos hileras y los rodamientos de rodillos cónicos de una hilera, aunque los rodamientos rígidos de bolas y los de rodillos a rótula son también adecuados.

6.4.4 Cargas variables

Muchas aplicaciones de rodamientos involucran condiciones variables de carga, es decir, dos o más aplicaciones de carga, velocidad y período de tiempo. Un ejemplo de tales variaciones es una transmisión de múltiples velocidades, y para esto es necesario establecer una carga radial equivalente P , la cual viene dada por la ecuación:

$$P = \left[\frac{T_1 * N^3 * (F_{r1})^3 + T_n * N^3 * (F_{rn})^3}{N * (T_1 + T_2 + \dots + T_n)} \right]$$

N , es igual a cualquier velocidad, no obstante 33 1/3 R.P.M es normalmente elegido. Esto permite una directa comparación con los rangos del rodamiento C . En algunos análisis de carga variable, deberán estar basados en suposiciones por la insuficiencia en el conocimiento de las fuerzas dinámica involucradas; esto lógicamente nos dará un análisis superior al que debería de obtenerse por el uso de un factor completamente arbitrario; consúltese con el fabricante para una mejor selección.

6.4.5 Cargas de oscilación

Algunos aplicaciones involucran movimientos de oscilación haciendo dificultosa la selección del rodamiento porque ellos presentan variaciones de esfuerzos cíclicos.

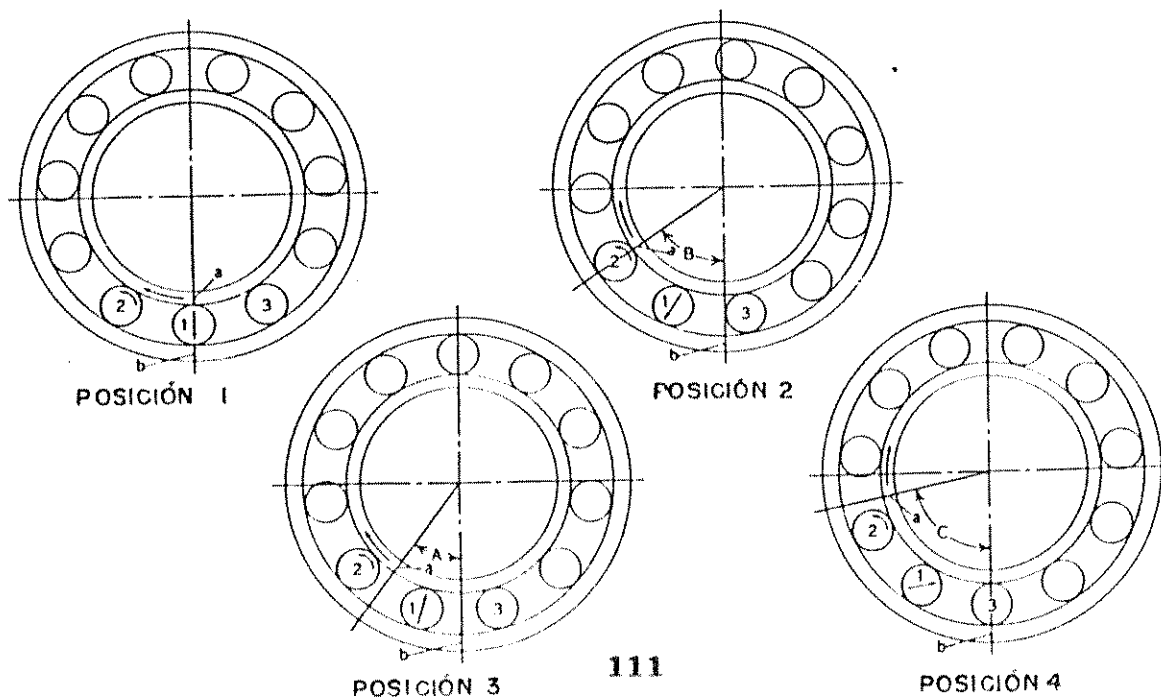
La figura 6.7 ilustra esquemáticamente cuatro significantes posiciones en el movimiento angular del anillos interior de un rodamiento. La posición 1 es la posición de inicio; la posición 2 muestra la posición del anillo interior a través de un ángulo "A"

durante la cual el elemento rodante tiene un giro de 180° , en la posición 3, adicional a la rotación del anillo interior a través del ángulo "B" se muestra el primer punto de contacto a adyacente al cilindro número 2. La posición 4, con el anillo interior rotando a través del ángulo "C", muestra un punto b en el anillo interior en el primer punto de contacto adyacente al cilindro número 3.

Estos tres movimientos angulares representan tres importantes y distintos ángulos medios de oscilación. El ángulo "A" es el mínimo ángulo medio en el cual cada uno de los cilindros podría ser esforzado a través de los mismos cuatro períodos de tiempo en cada uno de los ciclos de oscilación completos. El ángulo "B" es el de un cilindro simple que coincide en parte con el ángulo del camino

fig. 6.7

POSICIONES DE LOS ELEMENTOS RODANTES (colocado anillo exterior)



de rodadura del anillo interior. El anheló "C" es el ángulo medio en el cual el cilindro simple coincide en parte con la ocurrencia en el camino de rodadura del anillo exterior. Un similar grupo de ángulos medios existe para las oscilaciones del anillo exterior (anillo interior fijo).

6.4.6 Desequilibrio de cargas

Las fuerzas de desequilibrio pueden prevalecer como una condición de diseño, que puede existir como una indeseable pero predecible condición de operación. En uno u otro caso, estas fuerzas deberán estar consideradas en un análisis de carga en los rodamientos en un sistema de máquinas. Usualmente estas fuerzas se mueven en fase con la rotación del eje. El efecto en los rodamientos es similar, pero más severo que las producidas por cargas estacionarias en el eje, y, rotación del anillo exterior.

La acción vibratoria es incrementada dentro del uso de equipos de proceso. Muchos de estos equipos funcionan con el principio de pesos excéntricos, los cuales crean una conocida trayectoria y frecuencia vibratoria; las fuerzas y movimientos involucrados podrán ser calculados por las formulas:

$$F = \frac{M \cdot V^2}{r} \quad \text{ó} \quad F = M \cdot r \cdot \omega^2$$

6.4.7 Inercia de las cargas

Los cambios de velocidad o dirección de un cuerpo en movimiento son causados por fuerzas externas. Estas fuerzas pueden ser de gravedad, colisión con otros cuerpos o fuerzas ejercidas por conexión de cuerpos. Los rodamientos son frecuentemente dominados por estas fuerzas de inercia.

Los mecanismos puramente de rotación producen fuerzas de

inercia conocidas como "efecto volante" ; como una ventaja del efecto volante, una máquina puede ser accionada por 10 caballos de fuerza pero produce trabajo a través de una porción de su ciclo de operación en una proporción de 500 caballos de fuerza. El cálculo del efecto volante puede ser hecho con base en el deslizamiento volante por medio de asumir o conocer una reducción en la velocidad ocurrida sobre un periodo de tiempo. Con asumir o conocer un deslizamiento y su inercia rotacional, el cálculo podrá ser hecho de la siguiente manera:

$$E = \frac{K^2 * W}{2 * g} * (\omega_1^2 - \omega_2^2)$$

Donde:

E = Transferencia de energía, lbs-pie

W = Peso del cuerpo flotante, lbs.

g = Gravedad pies/seg

K = Radio de giro, pies

6.4.8 Transmisión de energía de las cargas

La transmisión mecánica y/o consumo de energía, la transmisión de energía desde un eje rotando es por medio de un torque creado por las fajas, cadenas, engranajes, ruedas, manivelas, etc. Un análisis de fuerzas resulta de la transmisión de energía por estos componentes, es decir, basado en la relación de torque-caballos de fuerza. Una fuerza tangencial aplicada a la periferia de una rueda, rueda dentada, poleas, etc., es multiplicado por el radio del componente que crea el torque. Cuando el movimiento de rotación es agregado, se tiene entonces el concepto de energía:

$$F = \frac{26,888 * H}{Dm * N}$$

Donde:

F = Fuerza tangencial, lbs.

H = Caballos de fuerza transmitidos

D_m = Diámetro de el componente de la máquina en la cual actúa la fuerza tangencial, plg.

N = Velocidad rotacional, rpm

En el análisis de varios tipos de componentes de máquinas, la fuerza tangencial es creada por los diferentes tipos de contactos y presiones. Un engranaje, por ejemplo, la presión total de contacto entre los dientes no actúa en una dirección puramente tangencial. En la conducción de fajas, la fuerza tangencial es desarrollada por la fricción creada en medio de las fajas y las poleas. Para desarrollar la fricción requerida y la fuerza tangencial, la tensión actual en las fajas puede ser más alta que la fuerza tangencial.

6.4.9 Reacción en los rodamientos

Las cargas ejercidas en los ejes por los componentes de las máquinas son trasladadas hacia las reacciones de los rodamientos, por lo que la solución es una viga estática. Los ejes son normalmente considerados como una viga simple con dos soportes (rodamientos). Los rodamientos del tipo auto-alineable son considerados como soportes no rígidos, de ese modo no crean momento de reacción. Los rodamientos de rodillos cilíndricos pueden ser considerados como auto-alineables; éstos proveen una deflexión que no excede de 0.0005" por pulgada de longitud del eje.

Este tipo de problemas con vigas estáticas está ampliamente cubierto en libros de texto y manuales de ingeniería. Las reacciones calculadas están dominadas por la exactitud de la instalación del rodamiento. Un error en el cálculo supuesto de la posición del rodamiento puede introducir serios errores en el cálculo de la carga del rodamiento.

APÉNDICE

LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS EN LOS RODAMIENTOS

Los rodamientos adecuadamente mantenidos deben estar relativamente libres de problemas. Usense las tablas siguientes para determinar la causa y solucionar cualquier síntoma de falla en el rodamiento.

Si la solución sugerida no corrige el problema, desarme el rodamiento y determine la causa.

A.- Ruido y vibración excesivos

Causa posible	Solución
Lubricación insuficiente	Llenar con la cantidad correcta de lubricante apropiado
Lubricación incorrecta	Usar el lubricante recomendado
Rodamiento defectuoso	Reemplazar el rodamiento
Suciedad	Limpiar el rodamiento, reemplazar los sellos y el rodamiento si están dañados
Corrosión	Usar lubricante que resista la corrosión, reemplazar el rodamiento si es necesario
Precarga incorrecta	Ajustar a la medida
Desalineamiento	Determinar cual está desalineado: cavidades de la caja o el eje. El eje puede estar doblado o las cavidades de la caja pueden estar desalineadas. Reemplazar la caja o el eje.
Rodamientos demasiado flojos	Grisar/metallizar el eje o la cavidad y rectificar a la medida o reemplazar el rodamiento si las superficies de asiento están gastadas
Montaje incorrecto	El rodamiento montado torcido o atascado produciendo precarga excesiva

B.- Pérdida del lubricante

Causa posible	Solución
Fugas a través del sello	Reemplazar el sello. Verificar si el eje tiene rayas o rebabas que pueden haber dañado el sello
Fugas entre la tapa del rodamiento y la caja	Reemplazar la empaquetadura
Lubricante incorrecto	Usar grasa para alta temperatura

C.- Calor excesivo

Causa Posible	Solución
Lubricante insuficiente	Agregar la cantidad correcta de lubricante
Lubricante incorrecto	Cambiar el lubricante correcto
Precarga excesiva	Ajustar a la medida
Hervor del lubricante	Usar menos lubricante o usar un lubricante de viscosidad más baja. Asegurarse que se usa el lubricante recomendado
Desalineamiento	Determinar cual está desalineado; las cavidades de las cajas o el eje. El eje puede estar doblado o las cavidades de las cajas no están alineadas. Reemplazar el eje o la caja
Arrastre excesivo	El anillo interior o el exterior está patinando alrededor de las superficies de asentamiento. Reconstruir el eje o la caja o reemplazar el rodamiento, cualquiera que corresponda

D.- El eje se resiste a girar

Causa posible	Solución
Precarga excesiva	Ajustar la precarga de acuerdo a las especificaciones
Falta de lubricación	Agregar el lubricante adecuado. Revisar si hay daños
Lubricante incorrecto	Usar lubricante de viscosidad más baja
Suciedad	Limpiar el rodamiento y usar lubricante fresco. Revisar si está dañado
Corrosión	Usar lubricante que resista la corrosión. Reemplazar el rodamiento si es necesario
Sello apretado	Usar el sello de tipo y tamaño adecuado
Rodamiento inclinado	Retirar el rodamiento y limpiar todas las superficies concordantes. Reinstalar el rodamiento

CONCLUSIONES

- 1.- En el desarrollo de la presente tesis, se puede observar la gran importancia que implica la adecuada aplicación de todos los parámetros para la selección de los rodamientos en los transportadores de banda.

- 2.- El adecuado funcionamiento de una máquina o equipo, en la cual su movimiento depende de los rodamientos sobre los cuales va montado, dependerá en gran porcentaje del estado de los mismos. Los rodamientos modernos son elementos de máquinas que proveen alta precisión, exactitud de giro, una marcha silenciosa y suave, si su selección y aplicación se ha efectuado correctamente, además un buen montaje y mantenimiento adecuado, se conserva su precisión durante un tiempo prolongado.

- 3.- El presente trabajo pretende dejar una constancia práctica para Ingenieros y técnicos en mantenimiento que tengan poca o ninguna experiencia en el campo de los rodamientos, que se enfoca hacia el transporte continuo, de suerte que si se saben hacer las aplicaciones correctas, se podrá seleccionar y calcular rodamientos para cualquier tipo de máquina que los requiera.

- 4.- En la tesis se ha dedicado un capítulo al cuidado y mantenimiento en los rodamientos, ya que es en esta parte donde deberán observarse con mayor cuidado tales elementos de las máquinas, para garantizar su vida útil y servicio.

- 5.- En concordancia con la finalidad del presente trabajo, en cuanto a la selección de los rodamientos, se trata también de su cuidado y manejo, tanto en su operación en máquinas como en su montaje y desmontaje. Sin embargo es obvio que no se hayan podido describir todos los procedimientos en cuanto a selección, montaje y desmontaje de los mismos, como se hubiese deseado.

- 6.- A pesar de que una considerable cantidad de rodamientos son mal montados o desmontados, es decir con respecto a ambientes inadecuados o que son golpeados directamente debido a la falta de inducción, se ha comprobado que pueden llegar a trabajar hasta en un 75% en esas mismas circunstancias, de lo contrario no trabajarán ni 24 horas, según catálogos de fabricante.

RECOMENDACIONES

- 1.- Al hacer la selección de rodamientos, deberán utilizarse parámetros dimensionales comerciales, es decir, en cuanto a la medida de los ejes o diámetro del anillo interior del rodamientos, los cuales están ya estandarizados.

- 2.- Al hacer la selección en cuanto a tipo y tamaño de rodamiento, podrá darse el caso, aparente, en que se puede optar por dos tipos distintos, razón por la cual deberán observarse cuidadosamente las tablas 3.1 y 3.2 para no tomar una decisión indiscriminada en cuanto a la selección.

- 3.- Al definir los parámetros de carga, deberá tenerse en cuenta de observar cuidadosamente la magnitud y dirección de las mismas, porque de su correcta aplicación dependerá en parte el rendimiento al máximo del rodamiento.

- 4.- Al aplicar los factores de ajuste de vida, especialmente los de material y condiciones de aplicación, si no se tiene el criterio suficiente, se recomienda consultar con un experto, ya que un valor arbitrario en los mismos puede dar falsas expectativas en cuanto a un máximo o mínimo rendimiento de vida en el rodamiento.

- 5.- No se recomienda que en una máquina se sustituya un rodamiento por otro de características diferentes; deberá hacerse un análisis completo al querer hacer dicha sustitución; el hecho de que otro rodamiento tenga mayor capacidad de carga no garantiza mayor vida si éste es de distinta clase.

- 6.- Con frecuencia, se sustituyen rodamientos por otros distintos en equipos medianos, porque a veces no es posible encontrar el requerido en el mercado; al hacer esto deberá optarse por el que tenga el mayor porcentaje de características requeridas al que se sustituye, y en el menor tiempo posible sustituirlo por el correcto.

- 7.- Dada la recomendación anterior y debido a la rotación de personal que pueda darse en el Departamento de Mantenimiento, deberá tenerse un historial de todos los elementos de la máquina con su número de pieza original para cambios posteriores con personas distintas.

BIBLIOGRAFÍA

- Allis Mineral Systems. Manual de Transportadores Continuos. 4a edición. Brasil: Fabrica de Aco Paulista Ltda. 1991.
- Baumeister. et.al. Marks manual del ingeniero mecánico. 2a. edición en español. México: McGraw-Hill. 1992.
- Deutschman. et.al. Diseño de Maquinaria, teoría y práctica. 3a edición. México: Cecsa. 1989.
- Dodge. Dodge Engineering Catalog. vol. 1.1_r. U.S.A: s.l.i. 1993.
- FMC. Bearing Tecncial Journal. Cat. Link belt Bearing FMC. USA. s.l.i. 1980
- Fournier, Julio. Manual de mantenimiento industrial. México: McGraw hill. 1989.
- Godínez, Sergio. Elementos a considerar en el diseño de transportadores de banda, (Tesis ingeniería mecánica industrial). USAC. 1988.
- Noriega, Francisco. Equipos industriales, guía práctica para reparación y mantenimiento. México: McGraw hill. 1988.
- NTN. Rodamientos de bolas y rodillos. catálogo No. 2647. Japon: Toyo Bearing Co., Ltd. 1988.

- NTN. Ball and Roller Bearings. Engineering data. Cat. No. 2021.
Japon: Toyo Bearing Co., Ltd., 1985.
- Rexnord. Power transmission and conveying components
Cat., R-85, USA: s.p.i. 1984.
- SKF. Catálogo general. Catálogo 4000 sp. Italia: s.p.i. 1989.
- SKF. Manual de mantenimiento y recambio de rodamientos. Catálogo
3600 sp. Suecia: Sormlands. 1986.

Selección de Ajuste Para Rodamientos Radiales

A la hora de seleccionar un ajuste, se deberán tener en cuenta los factores siguientes:

a.- Condiciones de giro, de las cuales se pueden presentar tres tipos "Carga Rotativa", que requiere de un ajuste de interferencia en uno de los aros; "Carga Fija" no requiere ningún tipo de ajuste a menos que se indique lo contrario, y "Carga de Dirección Indeterminada" que requiere que ambos anillos lleven un ajuste de interferencia.

b.- Magnitud de la carga

c.- Juego interno del rodamiento

d.- Condiciones de temperatura

e.- Exigencias respecto a la exactitud de giro

f.- Diseño y material de los ejes y alojamientos

g.- Facilidad de montaje y desmontaje

h.- Desplazamiento de un rodamiento libre

Las tolerancias para el agujero y para el diámetro exterior de los rodamientos están normalizadas internacionalmente. El ajuste de apriete o el ajuste flojo de los rodamientos con agujero y diámetro exterior cilíndrico se consigue seleccionando las gamas adecuadas de tolerancias para el eje y el alojamiento en el sistema de tolerancias ISO. Los rodamientos con agujero cónico se pueden montar directamente sobre el asiento de un eje cónico, o bien sobre un eje cilíndrico con un manguito cónico interpuesto, ya sea de fijación o de desmontaje. En estos casos el ajuste del aro interior no está determinado, por la tolerancia seleccionada para el eje, como en el caso de los rodamientos con agujero cilíndrico, sino por el calado axial del rodamiento sobre su asiento cónico o sobre el manguito, y se deben tomarse precauciones especiales con relación a la reducción del juego interno. En caso de que se monten los

rodamientos con manguitos de fijación o de desmontaje, se podrán usar mayores tolerancias de diámetro para el asiento del manguito aunque se deberán de reducir las tolerancias para el error de forma cilíndrica.

Los diferentes fabricantes de rodamientos ofrecen recomendaciones para el ajuste adecuado de los ejes y los alojamientos, y son validas para ejes de acero macizo y para soportes de hierro fundido o de acero, los cuales deben observarse debido a la experiencia en dicho campo de tales fabricantes.