



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE RODAMIENTOS
PARA EJE FRONTAL DE DIRECCIÓN NO
MOTRIZ DE TRACTOCAMIÓN.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

EDUARDO CESAR SAUCEDO GIRÓN

ASESOR: M. I. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ.

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO. 2003.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Selección y Aplicación de Rodamientos para Eje Frontal de Dirección
no Motriz de Tractocamión.

que presenta el pasante: Eduardo Cesar Saucedo Girón
con número de cuenta: 8704372-5 para obtener el título de :
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 20 de Mayo de 2003

PRESIDENTE	Ing. Marco Antonio Alarcon Ramírez	
VOCAL	Ing. Daniel Bonilla Sapien	
SECRETARIO	M.I. Felipe Diaz del Castillo Rodríguez	
PRIMER SUPLENTE	Ing. Enrique Cortes González	
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Marco Antonio Hernández Rodríguez	

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos:

A mis padres por haberme dado la vida y guiarme por el mejor camino; a mis hermanos y hermanas, a quienes admiro por ser simplemente como son. A todos ellos porque sé que mis triunfos son también sus triunfos. Gracias.

A mi gran amor Adriana por estar siempre a mi lado en todos los momentos.

A mis grandes Amigos en especial a Alfredo Vázquez Vázquez (q.e.p.d.). Y a los chicos del tercer piso de Oncología del Hospital Siglo XXI, porque sus sueños también se harán realidad algún día.

A NTN de México,S.A por haberme formado como profesionista, en especial al Ingeniero Alfredo Ruiz Anguiano, por su gran interés en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a las personas que de una u otra forma participaron en la elaboración de este trabajo:

-Ing. Juan José Ruiz

-Ing. Jaime Hernandez Vera

-Ing. Fernando González G.

-Ing. Edgar Tovar P.

-Ing. Miguel Angel Garnica

-Ing. Gerardo Angulo B.

-Ing. Oscar Juárez

NTN de México S.A.

NTN de México S.A.

NTN de México S.A.

DIRONA

TIMKEN de México S.A

SKF de México S.A de C.V.

A mi Asesor M.I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez:

Por la paciencia y ayuda que siempre me brindó.

A la U.N.A.M, por haber sido mi casa de estudios y por las oportunidades que día a día sigue brindando a la juventud Mexicana.

INDICE

INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2

CAPITULO 1 ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción	3
1.2 Definición de rodamiento	3
1.3 Antecedentes históricos	3
1.4 Fricción	5
1.5 Fricción de deslizamiento	5
1.6 Fricción de rodadura	6
1.7 Elementos constitutivos de los rodamientos	8
1.8 Clasificación y características de los rodamientos	10

CAPITULO 2 RODAMIENTOS CONICOS

2.1 Características	14
2.2 Principales tipos de rodamientos cónicos	18
2.2.1 Rodamientos de una hilera de rodillos	18
2.2.2 Rodamientos de una hilera de rodillos con pestaña en la pista exterior	19
2.3 Rodamientos de 2 hileras de rodillos	19
2.3.1 Rodamientos con pista exterior doble	19
2.3.2 Rodamientos TDI con pista exterior doble y TDIT con pista ext doble con agujero cónico.	20
2.4 Rodamiento cónico axial	20
2.5 Rodamiento de 4 hileras de rodillos cónicos	21
2.6 Nomenclatura	22

CAPITULO 3 EJES FRONTALES DIRECCIONALES NO MOTRICES

3.1 Brazo barra	23
3.2 Brazos direccionales	23
3.3 Muñón direccional	23
3.4 Brazo pitman	23
3.5 Especificaciones del producto	25
3.6 Despiece	26
3.7 Cargas aplicadas a los rodamientos	27
3.8 Carga radial	28
3.9 Carga axial	28
3.10 Carga combinada	28

3.11 Selección de rodamientos para rueda de eje no motriz	29
3.12 Ajuste del calculo para los rodamientos seleccionados	42
3.13 Ajustes	46
3.14 Criterios generales	47
3.15 Reglaje	47
3.16 Juego	48
3.17 Ajuste de baleros de rueda de ejes no motrices	48

CAPITULO 4

MANTENIMIENTO Y SERVICIO

4.1 Montaje	52
4.2 Técnicas de inspección	53
4.3 Lubricación	56
4.4 Grasas lubricantes	58
4.5 Términos de lubricación	59
4.6 Cantidad de grasa	61
4.7 Compatibilidad de grasas	63
4.8 Ciclos de re-engrase	64
4.9 Lubricación por aceite	65
4.10 Procedimiento para lubricar con aceite	65
4.11 Preguntas mas frecuentes en lubricación	67

CAPITULO 5

PRINCIPALES FALLAS Y SU PREVENCIÓN

5.1 Introducción	69
5.2 Fallas en rodamientos cónicos y soluciones	
5.2.1 Descascarillado	71
5.2.2 Desprendimiento de material	72
5.2.3 Desconchado	73
5.2.4 Manchado	74
5.2.5 Decoloraciones y moteado	75
5.2.6 Identaciones	76
5.2.7 Astillado	77
5.2.8 Oxidación y corrosión	78
5.2.9 Atascamiento o frenado	79
5.2.10 Desgaste y desgaste corrosivo	80
5.2.11 Picaduras eléctricas	81
5.2.12 Distorsión del camino de rodadura	82
5.2.13 Daños en la jaula	83

CONCLUSIONES	85
BIBLIOGRAFIA	86

INTRODUCCION

La fricción es un fenómeno físico que se presenta en todos los sistemas mecánicos y trae como consecuencia un aumento de la temperatura, desgaste de piezas, baja eficiencia etc. Para disminuir este fenómeno se crearon los rodamientos, los cuales tienen un papel muy importante dentro de cualquier sistema, por lo que es fundamental su análisis y estudio.

Existen muchos tipos y tamaños de estos y se diferencian unos de otros por las características especiales de cada uno de ellos.

Seleccionar un rodamiento para una aplicación en especial en un sistema mecánico es muy importante y requiere de buenos conocimientos de ellos, ya que una mala elección puede traer consecuencias graves.

Se tiene que conocer principalmente las magnitudes y direcciones de las cargas, así como el tamaño del eje o alojamiento en donde se requiere, además de las r.p.m. a las cuales trabajara sin descartar la temperatura de operación.

La selección no termina con elegir el rodamiento mas adecuado, sino es igual de importante conocer y llevar a cabo el servicio que se debe de aplicar, ya que un mal mantenimiento también puede tener consecuencias graves.

OBJETIVO

- Seleccionar los rodamientos mas adecuados para un eje delantero direccional no motriz en tractocamiones, tomando como base dibujos y especificaciones técnicas del fabricante de ejes.
- Determinar el tiempo estimado de vida útil y conocer los servicios preventivos y correctivos para tener el máximo rendimiento de estos rodamientos, así mismo conoceremos sus principales fallas y la forma de prevenirlas.

CAPITULO 1 ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCION

Los rodamientos de bolas y de rodillos se fabrican en muchos tipos y en muchas ejecuciones. Esta variedad es necesaria, ya que los rodamientos han de satisfacer exigencias muy diversas. Al proyectar una aplicación de rodamientos no siempre resulta sencillo encontrar el apropiado entre la gran cantidad de tipos que existen; hay que conocer exactamente las propiedades y las posibilidades de aplicación de los distintos tipos y ejecuciones.

Para la selección de un rodamiento se tiene que tener en cuenta los aspectos relacionados con las condiciones de servicio, entre las más importantes podemos citar:

- Magnitud y dirección de la carga
- Numero de revoluciones.
- Temperatura de servicio.
- Juego radial interno.

1.2 DEFINICION DE RODAMIENTO:

El rodamiento es un elemento mecánico que nos permite reducir al máximo la fricción provocada por el contacto de partes giratorias con partes fijas ya que éste se ubica entre estos 2 elementos, ya sea en un motor, una maquina o las ruedas de un vehículo.

1.3 ANTECEDENTES HISTORICOS

La lucha contra la fricción es una antigua batalla, por ejemplo; aún antes de haberse inventado la maquina más simple, el hombre primitivo tenia que mover cargas pesadas deslizándolas por el

suelo. Se requería un gran esfuerzo porque la acción de deslizar creaba una resistencia muy alta al movimiento.

Mas tarde el hombre aprendió a reducir el esfuerzo requerido para mover cargas pesadas rodándolas sobre troncos.

Alrededor del año 5,000 a. C. La V dinastía egipcia nos legó el uso de la rueda moderna, uno de los triunfos técnicos más grandes de la humanidad, esto condujo a los vehiculos y maquinas a reducir en forma considerable el esfuerzo requerido para mover y soportar cargas.

Así fué avanzando la tecnología hasta que en el año de 1496 Leonardo Davinci inventó una maquina afiladora de agujas que es una de las primeras maquinas mecanizadas que se tenga conocimiento, donde por primera vez se logró evitar el rozamiento en una forma más eficaz utilizando elementos mecánicos para evitar la fricción entre dos partes en movimiento.

En 1754 aparece el primer torno con transmisión mecánica y carro transversal, sin embargo hay que esperar hasta el año 1780 para que aparezcan los primeros prototipos de nuestros rodamientos actuales.

En 1794 aparece la primera patente que cubre a un rodamiento de bolas.

En 1878 aparece el primer rodamiento de rodillos cónicos y enseguida aparecen los rodamientos de doble hilera de bolas a rotula y tiempo después los rodamientos cónicos de doble hilera.

Debido al auge que ha tenido en los últimos 40 años la industria automotriz, ha sido un factor primordial en el perfeccionamiento de los diseños de los rodamientos ya que estos están íntimamente ligados al buen funcionamiento de un automóvil.

1.4 FRICCION

Es la resistencia que surge cuando dos superficies sólidas se deslizan o tiende a deslizarse una sobre la otra. Estas superficies pueden estar secas o lubricadas. En el primer caso cuando las superficies **no** contienen ningún líquido contaminante ni tampoco películas, la resistencia se llama **rozamiento seco**.

Cuando las dos superficies que se frotan, están separadas una de la otra por una película delgada de lubricante entonces el rozamiento se denomina de superficies lubricadas o grasosas.

1.5 FRICCION DE DESLIZAMIENTO

Es la resistencia al movimiento que presentan dos superficies que se encuentran en movimiento, esto implica que la resistencia al movimiento debido a la fricción de deslizamiento no depende de la cantidad de superficie que este en contacto como se indica en la figura 1.1

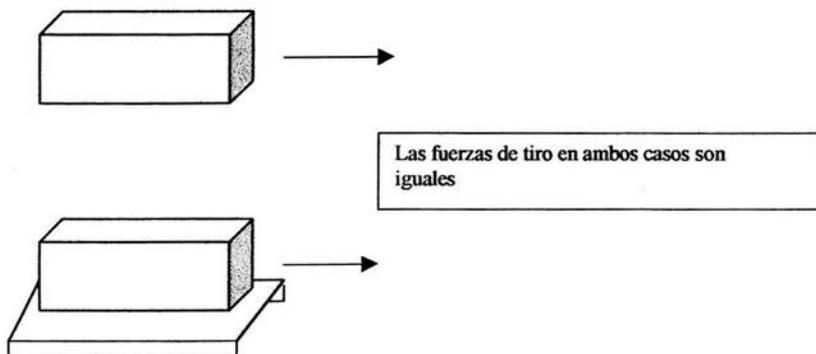


Figura 1.1 Fricción de deslizamiento,

1.6 FRICCIÓN DE RODADURA

A diferencia de la fricción por deslizamiento, la fricción por rodadura presenta solo un punto de contacto entre las dos superficies, facilitando el movimiento del cuerpo y disminuyendo la fricción existente

La figura 1.2 muestra las ventajas inherentes de la fricción de rodadura sobre la fricción de deslizamiento asociada con un bloque, en ella se muestra que se requiere de una fuerza de tiro de 400 libras para deslizar un bloque de madera de mil libras sobre las irregularidades de una superficie, sin embargo se requiere de una fuerza de tiro de solo 80 libras para rodar la misma carga soportada por ruedas de madera sobre la misma superficie. A diferencia de la fricción por deslizamiento el tamaño de la superficie de contacto en la fricción de rodadura afecta la resistencia al movimiento.

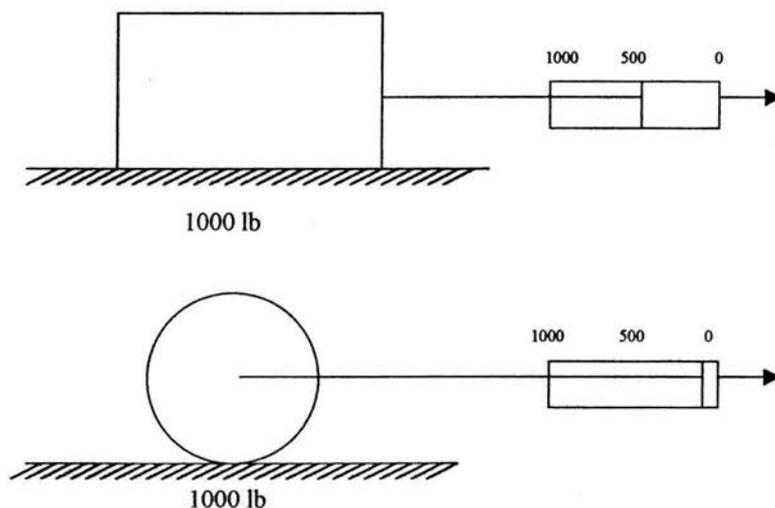


Figura 1.2 Ventajas de la fricción de rodadura sobre la fricción de deslizamiento

Por consiguiente se requiere menor esfuerzo para hacer girar una rueda que un tronco o rodillo debido que el área de contacto es menor como se indica en la figura 1.3

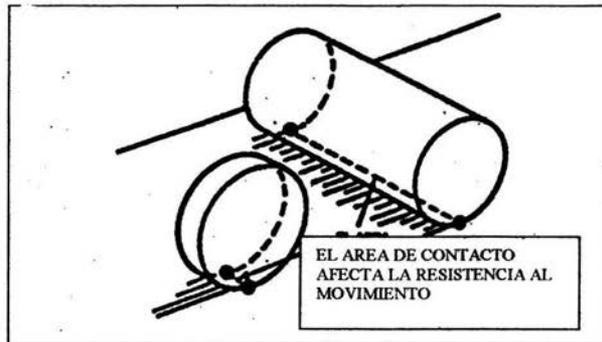


Figura 1.3 El área de contacto afecta el movimiento

Una rueda ordinaria, tiende a resistirse a girar alrededor del eje debido a la fricción de deslizamiento, lo que conduce a otros problemas como calentamiento y desgaste.

De este modo, mientras que la fricción de rodadura en el diámetro exterior de la rueda permite mover cargas pesadas con menos esfuerzos, la fricción de deslizamiento entre la rueda y el eje hace que estos se desgasten rápidamente como se muestra en la figura 1.4

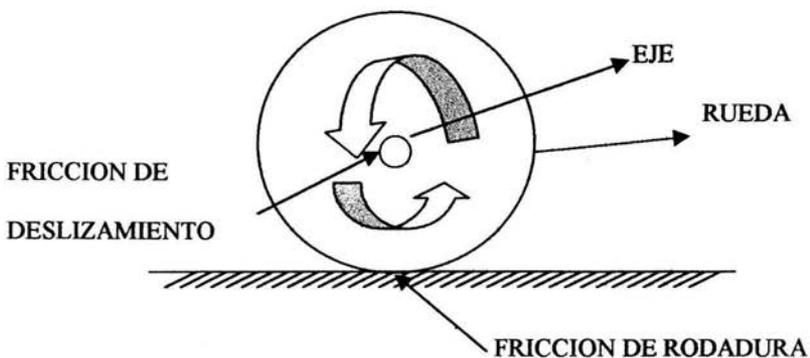


Figura 1.4 Fricción de rodadura y deslizamiento en una rueda común

No se sabe cuando, pero algún sabio anónimo descubrió que aplicando grasa animal entre el eje y las masas de la rueda, reducía la fricción y hacía que las partes en movimiento duraran más. Estos acontecimientos sentaron las bases o principios de los rodamientos y la lubricación.

1.7 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LOS RODAMIENTOS

La mayoría de los rodamientos consisten de anillos (un anillo interior y un anillo exterior), elementos rodantes (bolas o rodillos) y un retenedor de elementos rodantes (jaula).

El retenedor separa los elementos rodantes a intervalos iguales los mantiene en su lugar entre la pista interna y la externa y les permite rodar libremente.

Los elementos rodantes son provistos en 2 formas: bolas o rodillos, los cuales se suministran en cuatro estilos básicos cilíndricos, de agujas, cónicos y esféricos.

El contacto geométrico de las bolas con la superficie de las pistas de rodadura de los anillos internos y externos es de puntos, mientras que el contacto de los rodillos con estos anillos es una línea.

Teóricamente, los rodamientos de bolas y de rodillos se construyen para permitir que sus elementos rodantes giren orbitalmente al mismo tiempo que lo hacen sobre sus propios ejes.

Mientras que los elementos rodantes y los anillos soportan cualquier carga aplicada al rodamiento (en los puntos de contacto entre los elementos rodantes y las superficies de las pistas), el retenedor no soporta cargas en forma directa.

Este retenedor (jaula) solamente sirve para mantener los elementos rodantes a distancias iguales entre sí y para que no se salgan del rodamiento.

La figura 1.5 muestra los elementos constitutivos de diferentes tipos de rodamientos.

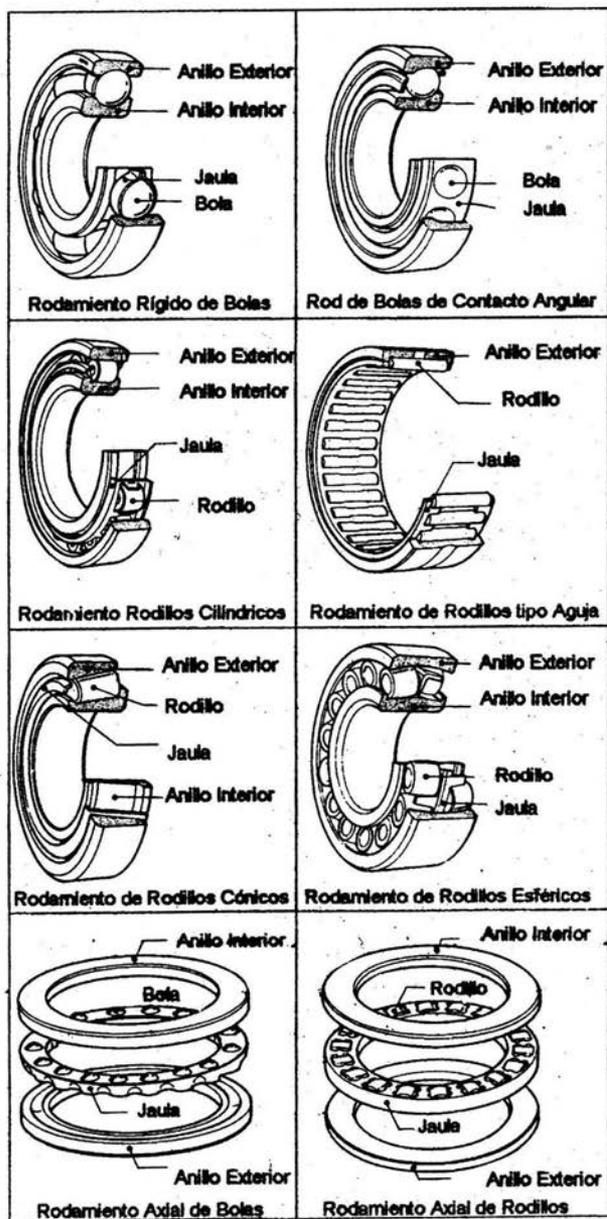


Figura 1.5 Elementos constitutivos de los rodamientos

1.8 CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LOS RODAMIENTOS

Los rodamientos se clasifican en 2 categorías principales: rodamientos de bolas y de rodillos. Los rodamientos de bolas se clasifican de acuerdo a la configuración de sus anillos: rodamiento rígido, de contacto angular y de carga axial. En contraste los rodamientos de rodillos se clasifican en función de la forma de los rodillos, estos pueden ser cilíndricos, de agujas, cónicos y esféricos.

Los rodamientos pueden clasificarse adicionalmente de acuerdo a la dirección en la que se aplica la carga:

- Rodamiento para carga radial.
- Rodamiento para carga axial.

Otros aspectos de clasificación incluyen

1. - El número de hileras de elementos rodantes (una, doble o 4 hileras)
2. - No separables o separables, en el cual el anillo interior o anillo exterior pueden ser desmontados o separados.
3. - Rodamientos de empuje, los cuales pueden tomar cargas axiales en un sentido y rodamientos de empuje de doble sentido, los cuales pueden tomar carga axial en ambos sentidos de una misma dirección.

La tabla 1.1 muestra detalladamente la clasificación general de todos los tipos de rodamientos, mientras que en la tabla 1.2 se observan las características de estos mismos.

Tabla 1.1 Clasificación de los rodamientos

Rodamientos de Bolas y de Rodillos	Rodamientos de Bolas	 Rodamientos rígidos de bolas de una sola hilera	
		 Rodamientos de bolas tipo máxima capacidad	
		 Rodamientos de bolas de contacto angular de una hilera	
		 Rodamientos de bolas de contacto angular tipo apareado	
		 Rodamientos de bolas de contacto angular de doble hilera	
		 Rodamientos de bolas de contacto angular de cuatro puntos de contacto	
		 Rodamientos oscilantes de bolas	
		Rodamientos Axiales de Bolas	 Rodamientos axiales de bolas de un solo sentido con cara plana de espalda
			 Rodamientos axiales de bolas de un solo sentido con anillo de asiento
			 Rodamientos axiales de bolas de sentido doble con una cara plana de espalda
	 Rodamientos axiales de bolas de sentido doble con anillo de asiento		
	 Rodamientos axiales de bolas de contacto angular de sentido doble		
	Rodamientos Radiales de Rodillos	 Rodamientos de rodillos cilíndricos de una hilera	
		 Rodamientos de rodillos cilíndricos de doble hilera	
		 Rodamientos de agujas	
		 Rodamientos de rodillos cónicos de una sola hilera	
		 Rodamientos de rodillos cónicos de doble hilera	
		 Rodamientos de rodillos esféricos	
		Rodamientos Axiales de Rodillos	 Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos
			 Rodamientos axiales de agujas
 Rodamientos axiales de rodillos cónicos			
 Rodamientos axiales de rodillos esféricos			

TABLA 1.2 CARACTERISTICAS DE LOS RODAMIENTOS

TIPO DE RODAM	RIGIDO DE BOLAS	DE BOLAS A CONTACTO ANGULAR	BOLAS A CTTO ANGULAR 2 HILERAS	BOLAS A CTTO ANGULAR APAREADO	OSCILANTE DE BOLAS	DE RODILLOS CILINDRICOS	DE RODILLOS CILINDRICOS 2 HILERAS	DE RODILLOS CILINDRICOS 1 REBORDE
CARGA RADIAL								
CARGA AXIAL								
CARGAS COMBINADAS								
ALTA VELOCIDAD								
ALTA PRECISION								
PAR Y RUIDOS BAJOS								
RIGIDEZ								
DESALINEAMIENTO ANGULAR								
CAPACIDAD DE AUTOALINEAMIENTO								
AROS SEPARABLES								
RODAMIENTO DE EXTREMO FIJO								
RODAMIENTO DE EXTREMO LIBRE								
RODAMIENTO DE ARO INTERIOR CONICO								

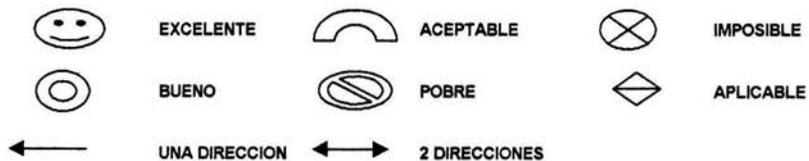


TABLA 1.2 CARACTERISTICAS DE LOS RODAMIENTOS (CONTINUACION)

TIPO DE RODAM CARACTERISTICAS	DE RODILLOS CILINDRICOS 2 REBORDES	DE AGUJAS	DE RODILLOS CONICOS	DE RODILLOS ESFERICOS	AXIALES DE BOLAS	AXIALES DE BOLAS ANILLO DE ASIENTO	AXIALES DE BOLAS CTTO ANGULAR 2 HILERAS	AXIALES RODILLOS ESFERICOS
CARGA RADIAL								
CARGA AXIAL								
CARGAS COMBINADAS								
ALTA VELOCIDAD								
ALTA PRECISION								
PAR Y RUIDOS BAJOS								
RIGIDEZ								
DESALINEAMIENTO ANGULAR								
CAPACIDAD DE AUTOALINEAMIENTO								
AROS SEPARABLES								
RODAMIENTO DE EXTREMO FIJO								
RODAMIENTO DE EXTREMO LIBRE								
RODAMIENTO DE ARO INTERIOR CONICO								

CAPITULO 2 RODAMIENTOS CONICOS

2.1 CARACTERISTICAS

Debido a su geometría y a las propiedades de su diseño, los rodamientos de rodillos cónicos poseen varias importantes y únicas características de funcionamiento que permiten ajustarse a las necesidades de un gran numero de aplicaciones.

Los rodamientos de rodillos cónicos están formados por cuatro componentes básicos, estos son la pista interior (cono), la pista exterior (taza), los rodillos cónicos y la jaula como se muestra en la figura 2.1



Figura 2.1 Partes constitutivas de los rodamientos cónicos

En condiciones de funcionamiento normales la pista interior, la pista exterior, y los rodillos son los encargados de soportar la carga mientras que la jaula tan solo sirve para separar a una distancia igual los rodillos.

Al grupo formado por la pista interior los rodillos y la jaula se le denomina como “Cono”, y es posible separarlo de la pista exterior o “Taza” facilitando de este modo el montaje.

El rodamiento de rodillos cónicos está diseñado de tal modo que la prolongación de las generatrices de las superficies de rodadura de las pistas y los rodillos convergen en un punto común que se encuentra sobre el eje de rotación del rodamiento (llamado apex), como se muestra en la figura 2.2. Esto permite un auténtico movimiento de rodadura sin deslizamiento de los rodillos sobre las pistas, en todos y cada uno de los puntos de contacto.

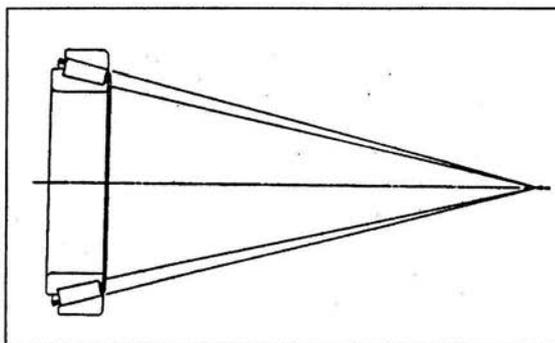
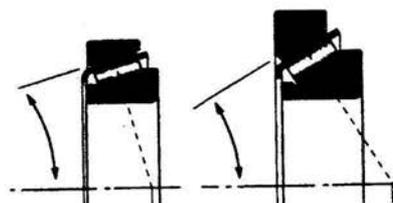


Figura 2.2 La confluencia en un punto (apex) de las prolongaciones de las generatrices de las superficies de rodadura y de los rodillos

Las superficies de rodadura inclinadas permiten a los rodamientos de rodillos cónicos soportar cargas radiales, axiales y una combinación de ambas. Cuanto mayor es el ángulo entre la superficie de rodadura y el eje de rotación del rodamiento, mayor es la relación entre la capacidad axial y la radial del rodamiento como se muestra en la figura 2.3



Angulo cerrado adecuado Angulo abierto adecuado
 para altas cargas radiales para altas cargas axiales

Figura 2.3 Angulos de contacto

Una mayor longitud de la línea de contacto entre los rodillos y las superficies de rodadura proporciona al rodamiento de rodillos cónicos una mayor capacidad de carga. Este factor unido a la capacidad para soportar cargas radiales, axiales o cualquier combinación entre estas, hace del rodamiento de rodillos cónicos la elección ideal para numerosas aplicaciones.

La alineación total de los rodillos es una de las mayores ventajas de los rodamientos de rodillos cónicos. La configuración cónica del rodillo no solo asegura un auténtico movimiento de rodadura, permitiendo a la vez que el rodamiento tenga una larga línea de carga en el contacto rodillo – superficie de rodadura sino que además genera una fuerza de asentamiento que empuja al rodillo contra la mayor de las pestañas de la pista interior, figura 2.4

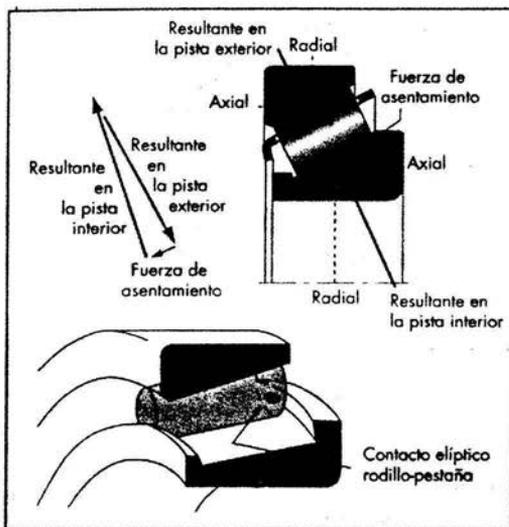


Figura 2.4 Fuerzas que actúan sobre un rodamiento cónico

Esta fuerza impide a los rodillos cruzarse en su rodadura abandonando la alineación con el apex, por consiguiente los mantiene perfectamente alineados y colocados en contacto contra la pestaña de la pista interior.

Los rodamientos de rodillos cónicos tienen las cabezas de sus rodillos rectificadas en forma esférica. El radio de éstas superficies es siempre ligeramente inferior a la longitud de apex (distancia desde la cabeza del rodillo al apex). De este modo cuando no existe carga, la cabeza del rodillo toca tan sólo en un punto a la pestaña de la pista interior. Bajo carga esta área de contacto se convierte en una elipse. La geometría de esta superficie de contacto entre rodillos y pestaña permite el desarrollo de una lubricación hidrodinámica.

Los componentes de los rodamientos de rodillos cónicos tienen perfiles que permiten, en condiciones de carga normales una distribución uniforme de las tensiones de contacto a lo largo de toda la longitud de los rodillos, así como se muestra en la figura 2.5

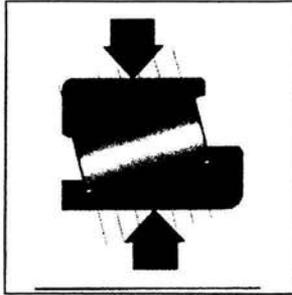


Figura 2.5 Distribución uniforme de tensiones de contacto

2.2 PRINCIPALES TIPOS DE RODAMIENTOS CONICOS

2.2.1 Rodamiento de una hilera de rodillos: Este es el tipo básico cuyo uso se encuentra mas extendido de entre los rodamientos de rodillos cónicos, se compone de 2 elementos separables.

Durante su instalación pueden ser reglados con el valor mas adecuado de juego o de precarga de tal modo que su rendimiento sea óptimo, figura 2.6

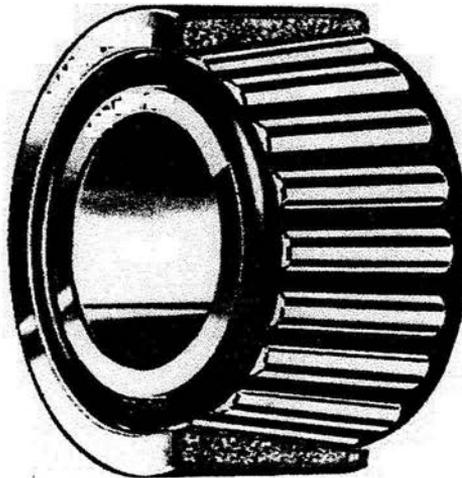


Figura 2.6 Rodamiento de una hilera de rodillos

2.2.2 Rodamiento de una hilera de rodillos con pestaña en la pista exterior:

Es una variación del tipo de 1 hilera de rodillos, pero además dispone de una pestaña en la pista exterior para facilitar su bloqueo axial y permite una correcta alineación, figura 2.7

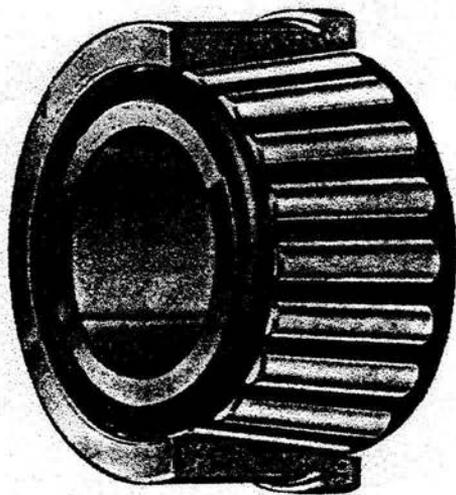


Figura 2.7 Rodamiento de una hilera de rodillos con pestaña en la pista exterior

2.3 RODAMIENTO DE 2 HILERAS DE RODILLOS

2.3.1 TDO Rodamiento con pista exterior doble: Esta compuesta por una pista exterior doble de una sola pieza y 2 pistas exteriores. Esta configuración permite obtener una gran distancia entre los centros efectivos de carga de cada una de las hileras y es por ello preferida en aplicaciones en las que existen elevados pares de vuelco (figura 2.8)

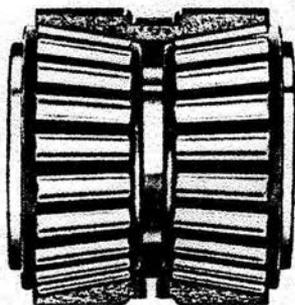


Figura 2.8 Rodamiento cónico de 2 hileras de rodillos con pista exterior doble

2.3.2 Rodamientos TDI con pista interior doble y TDIT con pista interior doble con agujero cónico:

Ambos tipos están compuestos por una pista interior doble de una sola pieza y 2 pistas exteriores. Los rodamientos TDI (figura 2.9) y TDIT (figura 2.10), pueden utilizarse en posiciones axialmente fijas, en posiciones en las que el elemento que gira es el eje.

En aquellas otras en las que es el alojamiento el que gira, la pista interior doble del rodamiento TDI puede soportar ligeros desplazamientos axiales en el eje (flotar).

También pueden ser utilizados en aplicaciones de eje giratorio en las que es preciso un ajuste con holgura con el fin de facilitar el desmontaje. El tipo TDIT tiene el agujero de la pista interior cónico para permitir un sencillo mantenimiento en aquellos casos en las que el ajuste con apriete es esencial y existe a la vez la necesidad de frecuentes desmontajes

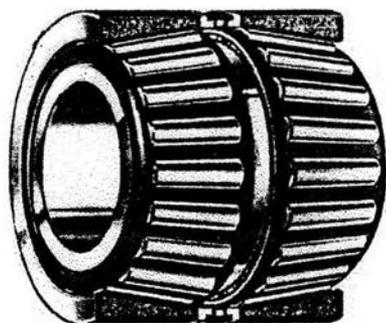


Figura 2.9 Rodamiento TDI pista interior doble

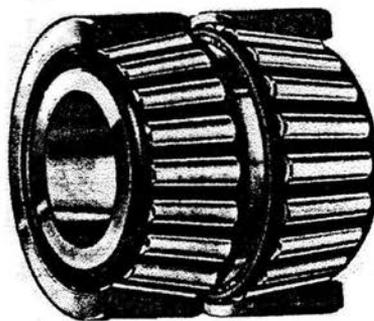


Figura 2.10 Rodamiento TDIT pista interior doble con agujero cónico

2.4 RODAMIENTOS CONICOS AXIALES

Estos rodamientos están diseñados para aplicaciones específicas en las que tan solo existan cargas axiales (figura 2.11)

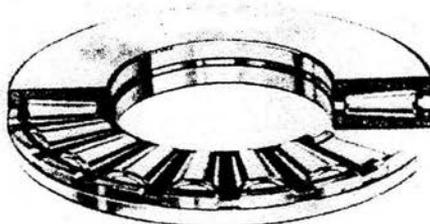


Figura 2.11 Rodamiento cónico axial

2.5 RODAMIENTOS DE CUATRO HILERAS DE RODILLOS

En esencia, los rodamientos de cuatro hileras de rodillos (figura 2.12), combinan altas capacidades de cargas radiales y axiales.

Su aplicación fundamental la constituyen los cuellos de cilindro de los trenes de laminación.

Todos los rodamientos de cuatro hileras de rodillos cónicos se suministran como conjuntos compactos y pre-reglados.

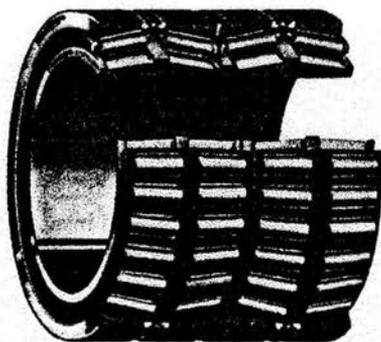


Figura 2.12 Rodamiento cónico de 4 hileras de rodillos

2.6 NOMENCLATURA

En la figura 2.13 se muestra la nomenclatura básica de los rodamientos cónicos

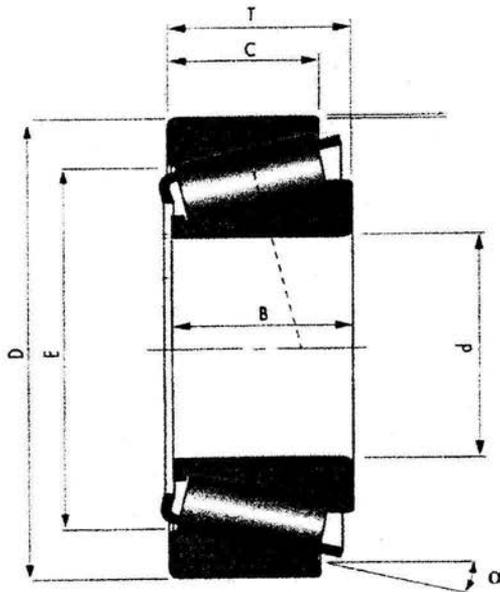


Figura 2.13 nomenclatura de un rodamiento cónico

- d** = Diámetro interior nominal
- D** = Diámetro exterior nominal
- T** = Ancho total nominal
- B** = Ancho de la pista interior nominal
- C** = Ancho de la pista exterior nominal
- E** = Diámetro interior del aro nominal
- α = Ángulo de contacto nominal

CAPITULO 3

EJES FRONTALES DIRECCIONALES NO MOTRICES

Las partes principales de un eje frontal son las siguientes:

3.1 BRAZO BARRA:

El brazo de barra derecho es igual al brazo barra izquierdo y convierte la fuerza terminal en un movimiento para hacer girar el muñón, la rueda y la llanta derecha alrededor del perno maestro. El ensamble muñón, perno-maestro es similar al izquierdo, excepto que no tiene un brazo direccional agregado a él en un sistema direccional manual. El sistema direccional de potencia usa un cilindro de asistencia auxiliar agregado al muñón derecho que requiere un brazo direccional en aplicaciones varias.

3.2 BRAZOS DIRECCIONALES:

Estos brazos (usualmente de hierro forjado), convierten la fuerza de la barra transversal en un movimiento giratorio por medio del perno maestro izquierdo y a través del muñón.

3.3 MUÑON DIRECCIONAL:

Los muñones se evalúan de acuerdo a la capacidad del eje frontal. Todos los modelos usan pernos rectos. Los tipos de bujes usados son tres: bujes del muñón de nylon, bujes de bronce y bujes de fácil dirección.

3.4 BRAZO PITMAN.

Los brazos Pitman. Convierten la torsión de salida del engrane direccional en potencia para la barra transversal.

La figura 3.1 muestra donde se encuentran localizadas las piezas anteriormente descritas.

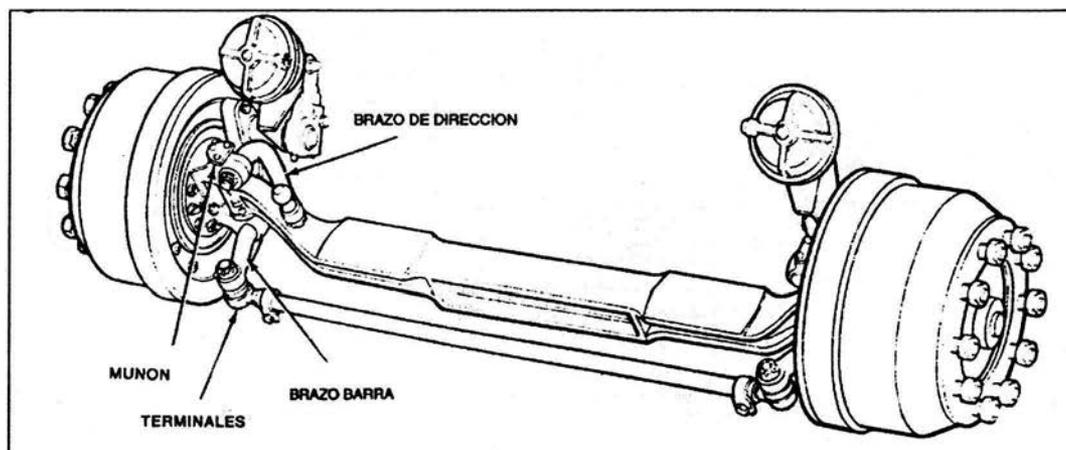
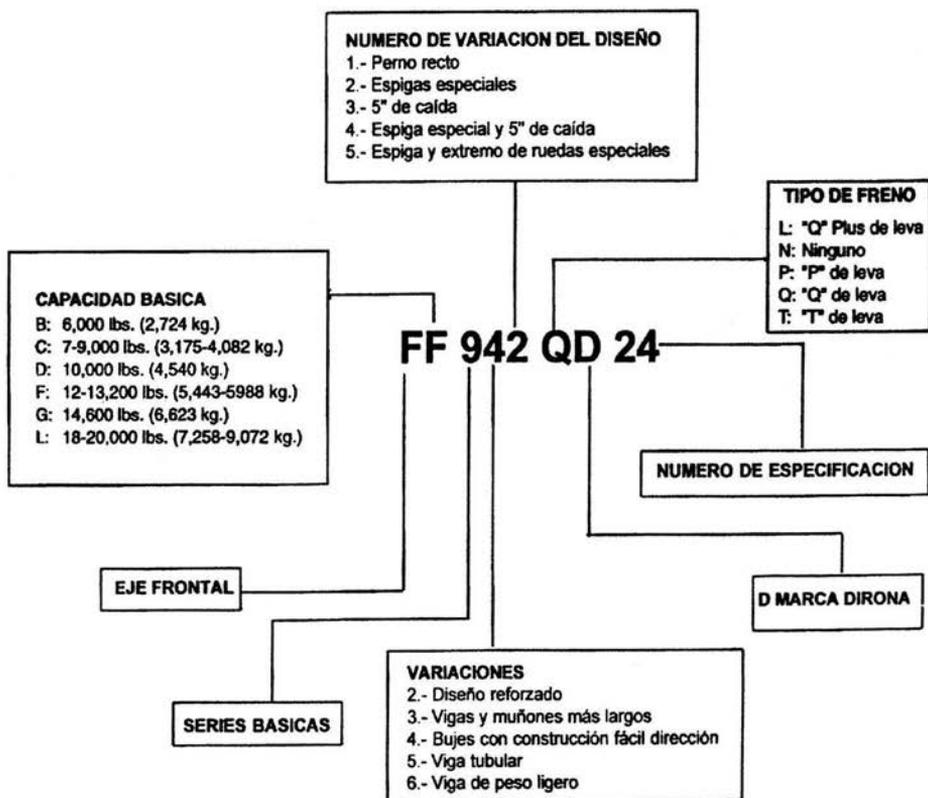


Figura 3.1 Partes principales de un eje frontal direccional no motriz

3.5 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

La tabla 3.1 nos muestra las especificaciones del producto de acuerdo a cada elemento del número de parte del eje

Tabla 3.1 Especificaciones del producto



3.6 DESPIECE

Las figuras 3.2 y 3.3 muestran el despiece de un eje frontal no motriz.

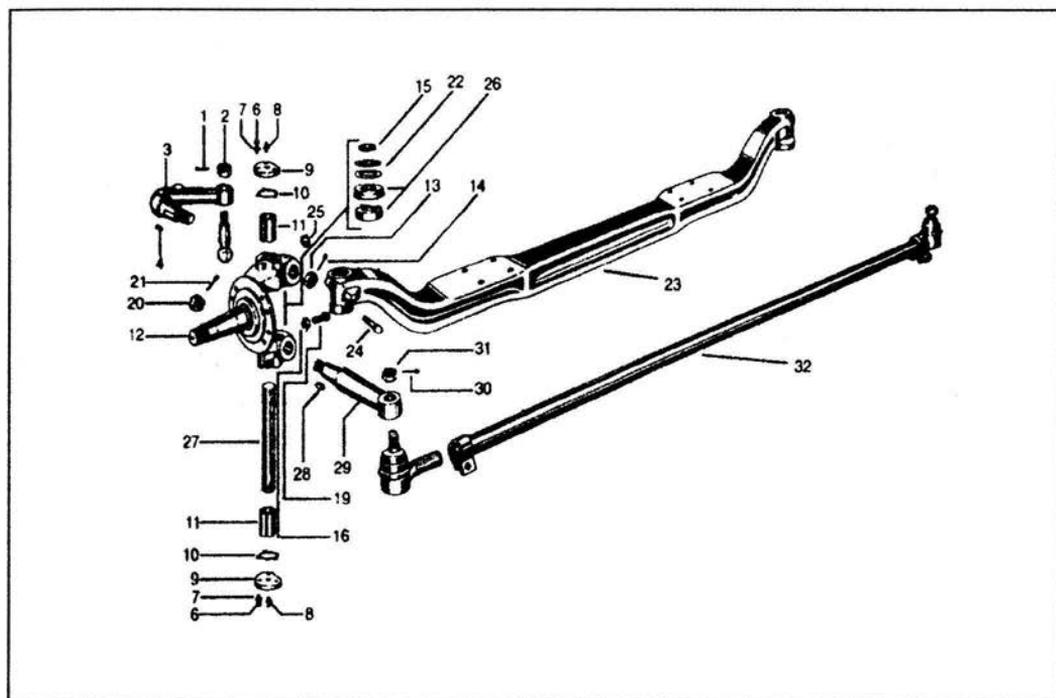


Figura 3.2 Despiece de un eje delantero direccional no motriz

NUMERO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	NUMERO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Chaveta	1	17	Arandela	2
2	Tuerca rotula	1	18	Adaptador	2
3	Brazo dirección	1	19	Tornillo tope	2
4	Cuña brazo de dirección	1	20	Tuerca brazo barra	2
5			21	Chaveta brazo barra	2
6	Tornillo cubierta muñón	12	22	Laina	
7	Arandela plana	12	23	Viga central	1
8	Grasera	4	24	Pasador cónico	2
9	Cubierta muñón	4	25	Tuerca pasador cónico	4
10	Empaque cubierta	4	26	Balero de carga	2
11	Buje cubierto de Nylon	4	27	Perno maestro	2
12	Muñón	1	28	Cuña brazo barra	2
13	Tuerca brazo de dirección	1	29	Brazo barra	1
14	Chaveta brazo de dirección	1	30	Chaveta tuerca terminal	2
15	Reten del muñón	1	31	Tuerca terminal	2
16	Tuerca para tornillo	2	32	Barra transversal	1

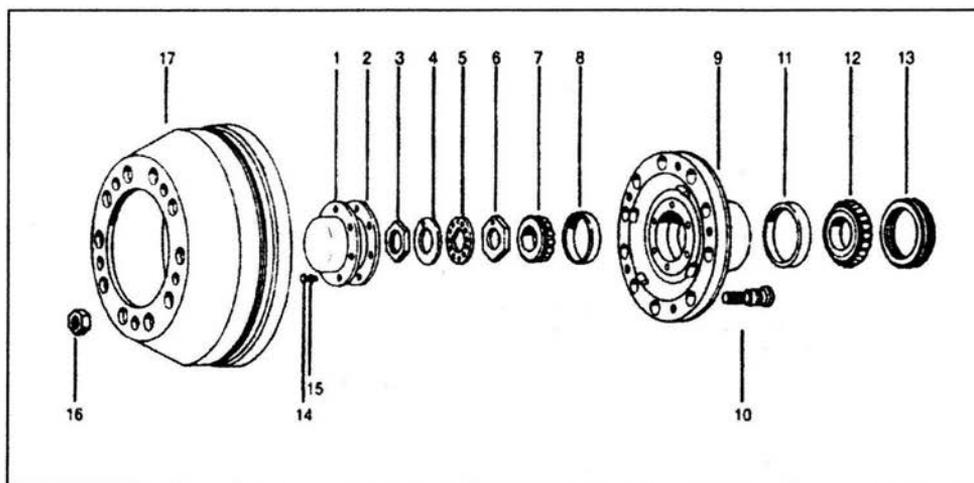


Figura 3.3 Conjunto maza tambor

NUMERO	DESCRIPCION	CANTIDAD	NUMERO	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	Copa de maza	1	10	Birlo	5
2	Empaque	1	11	Taza balero interior	1
3	Tuerca de apriete	1	12	Cono balero interior	1
4	Arandela de seguridad	1	13	Reten	1
5	Arandela	1	14	Tomillo copa maza	6
6	Tuerca de ajuste	1	15	Arandela copa maza	6
7	Cono balero exterior	1	16	Tuerca para birlo	5
8	Taza balero exterior	1	17	Tambor	1
9	Maza	1			

3.7 CARGAS APLICADAS A LOS RODAMIENTOS

Todos los rodamientos están sometidos a diferentes tipos de cargas, estas pueden ser únicamente en una dirección ó en una combinación de dos direcciones.

El nombre de estas direcciones de cargas se le llama carga radial ó carga axial.

3.8 CARGA RADIAL:

Se le llama así a la carga que actúa perpendicularmente al eje de rotación de un rodamiento.

3.9 CARGA AXIAL:

Es la carga que se aplica paralela al eje de rotación de un rodamiento.

3.10 CARGA COMBINADA:

Es la combinación de ambas cargas radial y axial sobre un rodamiento.

La figura 3.4 muestra los tipos de cargas y las direcciones que actúan sobre los rodamientos

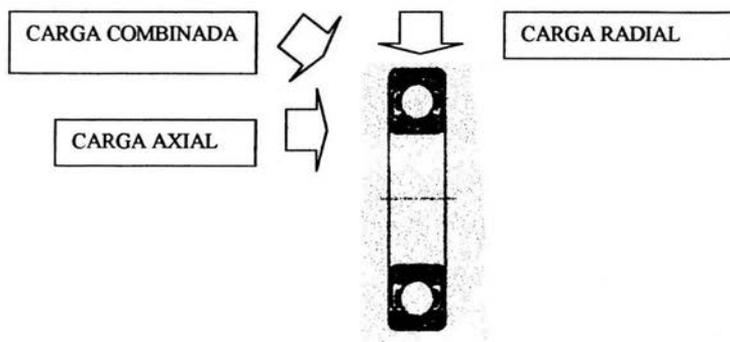


Figura 3.4 Cargas aplicadas a los rodamientos

Casi todos los rodamientos de bolas y de rodillos pueden soportar tanto cargas radiales como cargas axiales a la vez.

Generalmente los rodamientos que poseen ángulos de contacto menor a 45 grados tienen una capacidad de carga radial mayor y se clasifican como rodamientos radiales; mientras que los

rodamientos que poseen un ángulo de contacto mayor a 45 grados tienen una capacidad de carga axial mayor y son clasificados como rodamientos axiales.

También hay rodamientos clasificados como combinados, estos reúnen las características de carga tanto de los rodamientos radiales como la de los axiales.

Las cargas aplicadas sobre los rodamientos generalmente incluyen el peso de las estructuras que han de ser soportados por los mismos, el peso de los elementos giratorios, la potencia de transmisión, la carga producida por el funcionamiento de la maquina en donde están montados los rodamientos, etc.

Estas cargas se pueden calcular teóricamente, pero algunas de ellas resultan difíciles de estimar.

Así pues se hace necesario corregir las estimaciones utilizando datos empíricos.

3.11 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS PARA RUEDA DE EJE NO MOTRIZ PARA TRACTOCAMION:

Consideraciones:

Al hacer los cálculos de las cargas en los rodamientos de ruedas delanteras, usualmente se encontrará que la línea de reacción de la carga pasará cerca del rodamiento interior del eje. El porcentaje mayor de la carga será llevado como carga radial en el rodamiento interior A; mientras que comparativamente poca carga radial será llevada por el rodamiento exterior B.

El rodamiento exterior actúa como estabilizador llevando su propia carga radial combinada con la carga axial inducida resultante de la carga radial sobre el rodamiento interior.

La relación del conjunto de rodamientos para rueda delantera está relacionada con el diseño de la maza y de la espiga o muñón del eje así como una adecuada combinación de rodamientos. Como regla general, para camiones de uso en carretera la separación entre rodamientos de rueda

deberá ser por lo menos de 0.10 veces el diámetro de la rueda. Una separación mucho mayor no sería práctica por razones económicas del diseño.

Los rodamientos para esta aplicación deberán seleccionarse en la base de un 100% de carga máxima y para una velocidad de 90 Km/h (56 millas/h).

El rodamiento de rodillos cónicos es el más adecuado para esta aplicación, por estar capacitado por su diseño para aceptar cargas radiales o axiales y la combinación de ellas. Además en esta aplicación deberá utilizarse un montaje indirecto (figura 3.5) para lograr una separación mayor entre los centros efectivos de carga de los rodamientos, lográndose así una mayor estabilidad en la rueda.

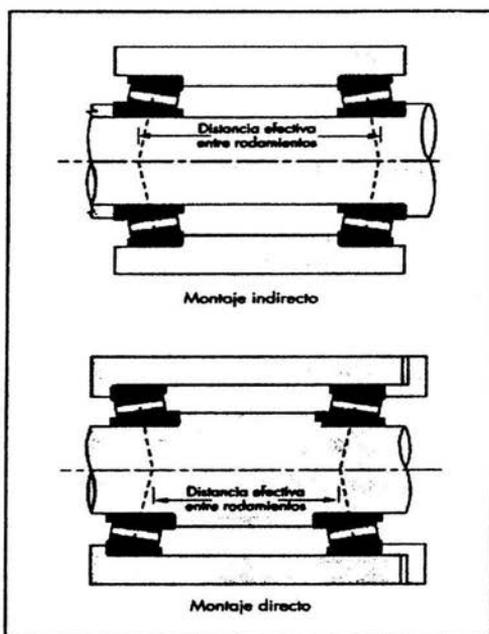


Figura 3.5 Formas de montaje de rodamientos de una hilera de rodillos cónicos

De acuerdo con los cálculos realizados y la experiencia en múltiples aplicaciones de efectividad comprobada en la práctica, se ha llegado a establecer que los rodamientos utilizados en esta

aplicación deberán tener un ángulo de contacto entre la pista de rodadura de la taza (ángulo de conicidad 2α) que fluctúe entre $48^\circ 54'$ y $77^\circ 20'$ o sea un factor de carga axial K de 2.20 a 1.25.

El factor K se define como la relación entre la capacidad de carga dinámica radial básica y la capacidad de carga dinámica axial básica en un rodamiento de una hilera de rodillos cónicos

$$K = \frac{C_{90}}{C_{R90}} \quad (3.1)$$

Donde C_{90} = Capacidad de carga dinámica axial básica

C_{R90} = Capacidad de carga dinámica radial básica

O también
$$K = \cot \alpha \quad (3.2)$$

Siendo α la mitad del ángulo de conicidad de la taza (figura 3.6)

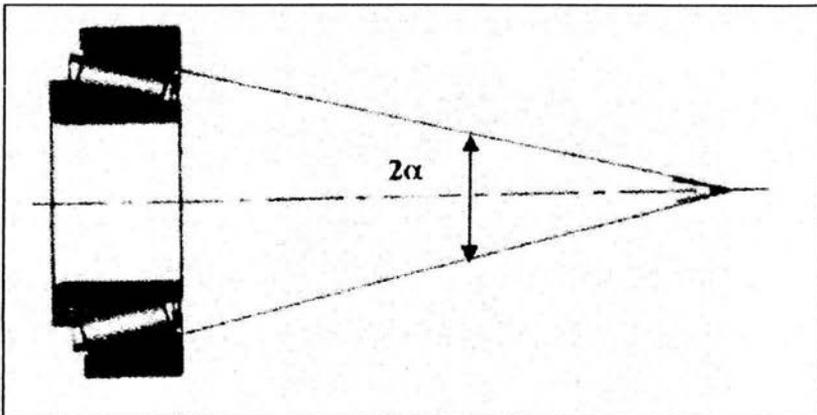


Figura 3.6 Angulo de conicidad α en un rodamiento cónico

CONDICIONES:

Eje delantero para tractocamion Dirona FF 942 QD 24

- Capacidad de carga 58737 N (13 200 lb)
- Diámetro de la llanta: 1049 mm (41.3 in)
- Espaciamiento entre rodamientos como se indica en el dibujo del cliente, mínimo $0.10 \times 1049 = 104.9$ mm (4.13 in)

Alojamiento de Rodamientos:

- Interior (A) Flecha = 66.5 mm (2.618 in)
Maza : 122 mm (4.8 in)
- Exterior (B) Flecha = 44.4 mm (1.748 in)
Maza : 93 mm (3.66 in)

Se seleccionan los rodamientos para una carga máxima en el eje operando a una velocidad de 90 Km/h (55.4 millas/h) y para una duración de 5000 horas L_{10}

Calculamos las revoluciones por minuto RPM por medio de la ecuación 3.3

$$r.p.m = \frac{KPH \times 10^6}{\pi D_M \times 60} \quad (3.3)$$

Donde KPH = Velocidad máxima que puede soportar el eje

D_M = Diámetro de la llanta.

Sustituyendo valores tenemos

$$r.p.m = \frac{90 \times 10^6}{3.1416 \times 1049 \times 60} = 455 \text{ r.p.m}$$

Usaremos una distancia entre centros de rodamientos de 120.8 mm (tomando a escala del dibujo del cliente).

De acuerdo con el dibujo de montaje, la línea de carga (reacción del piso sobre la llanta) pasa aproximadamente por el centro geométrico del rodamiento A en la posición interior.

Utilizaremos el dibujo original del fabricante para obtener las dimensiones y con estos realizar los cálculos.

Estos dibujos se encuentran en las figuras 3.7 y 3.8

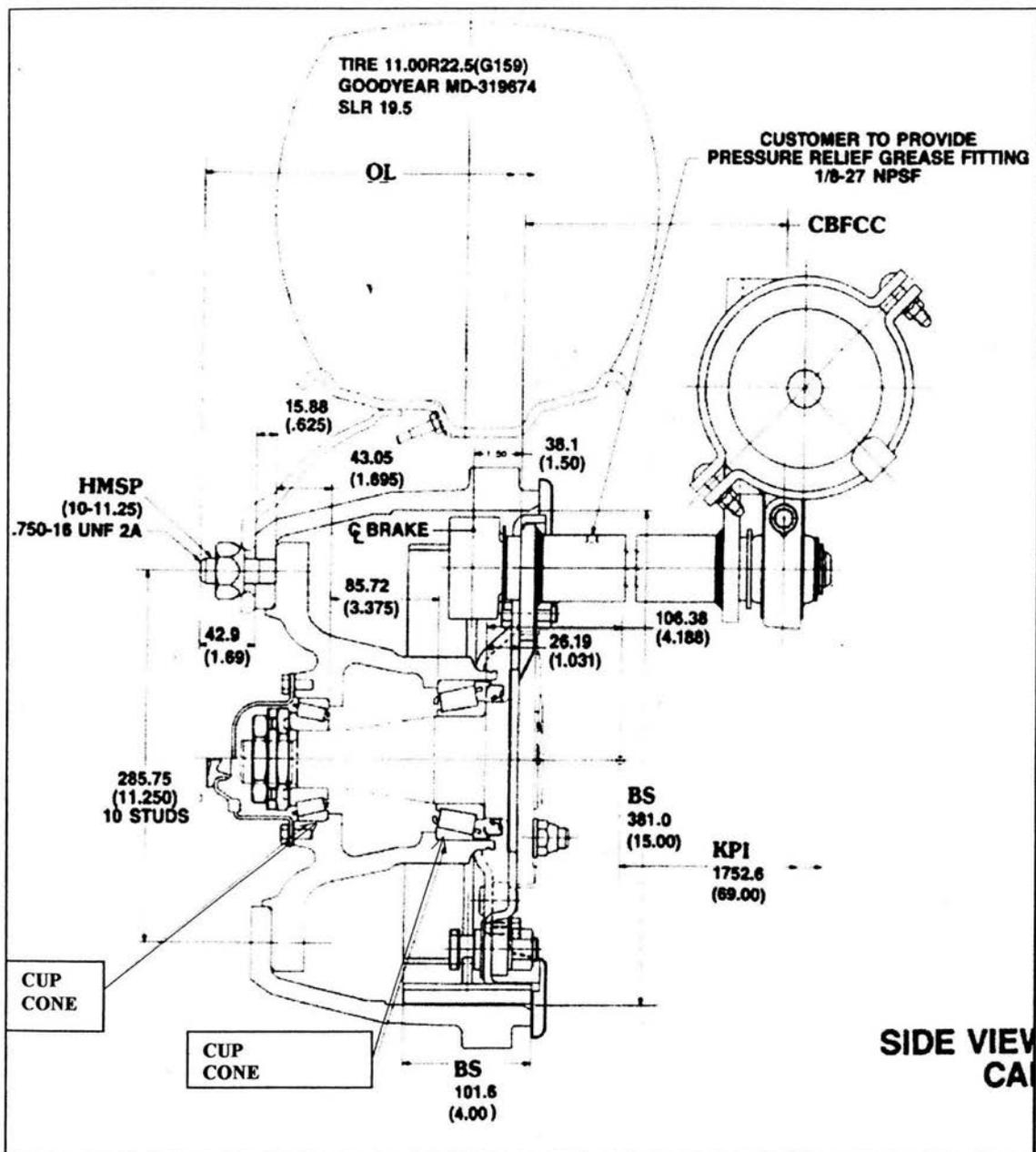
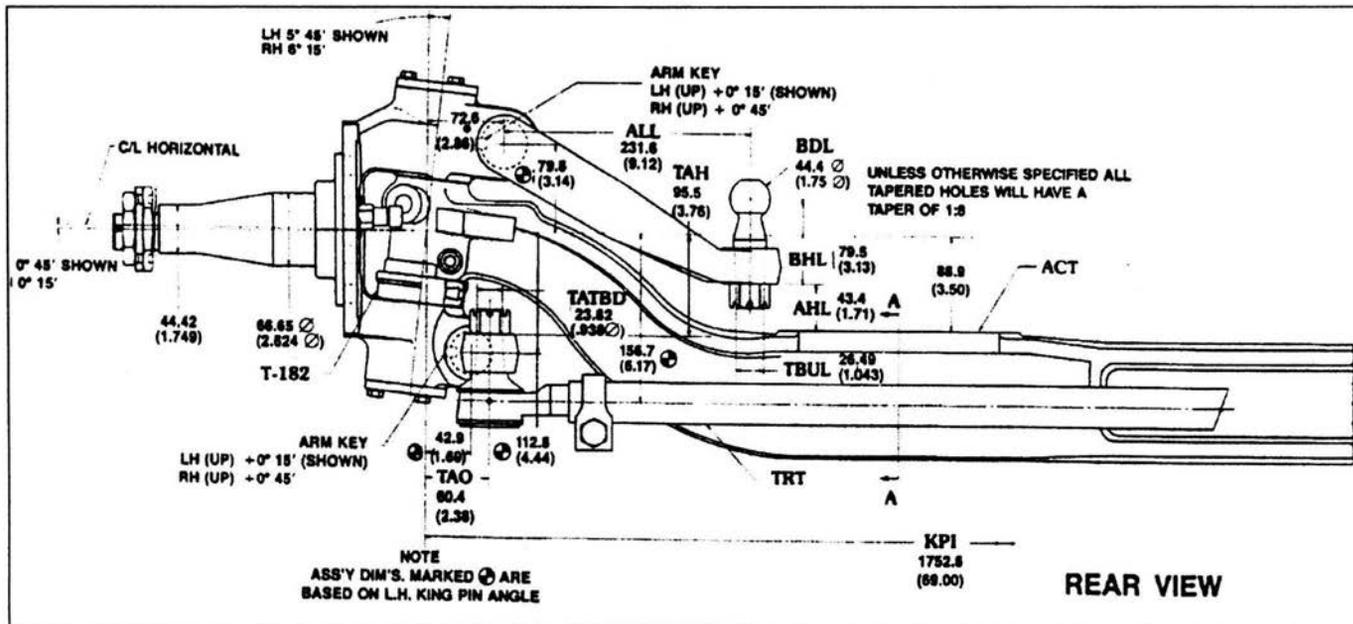


Figura 3.7 Dibujo original del fabricante

Figura 3.8 Dibujo original del fabricante



De acuerdo con los datos que nos proporcionó el fabricante, tenemos que la carga máxima que puede soportar el eje es de 58737 N. Esta carga es soportada por ambas llantas, por lo tanto a cada rueda solo le corresponde la mitad de ésta, así tenemos que:

$$F = \frac{58737}{2} = 29369N \quad (3.4)$$

La ecuación 3.3 es la carga máxima que soporta una sola rueda y es el dato que utilizaremos para nuestros cálculos.

Calculamos la fuerza radial en los rodamientos interior A y exterior B utilizando las ecuaciones 3.4 y 3.5

$$F_{rA} = \frac{29369 \times 120.8}{120.8} = 29369N \quad (3.5)$$

$$F_{rB} = 0 \quad (3.6)$$

Utilizando el método de la AFMBA (Anti-friction Bearings Manufacturers Assoc.) tenemos las siguientes consideraciones:

Ecuación de carga axial

$$\frac{0.47F_{rA}}{K_A} > \frac{0.47F_{rB}}{K_B} \quad (3.7)$$

Según las consideraciones anteriores, tenemos que el ángulo de conicidad 2α debe fluctuar entre $48^\circ 54'$ y $77^\circ 20'$ por lo tanto utilizando la ecuación 3.2 tenemos

$$K = \cot 24^\circ 27' = 2.20$$

$$K = \cot 38.5^\circ 20' = 1.25$$

Por lo tanto tenemos que:

$$K_A = K_B = K_{PROMEDIO} = \frac{1.25 + 2.20}{2} = 1.73 \quad (3.8)$$

Sustituyendo este valor en la ecuación 3.7 tenemos

$$\frac{0.47 \times 29369}{1.73} > \frac{0.47 \times 0}{1.73}$$

$$7878 > 0$$

Condiciones de fuerzas axiales

Calculamos la carga axial total sobre los rodamientos A y B utilizando las ecuaciones 3.9 y 3.10.

$$F_{aA} = \frac{0.47 \times F_{rA}}{K_A} \quad (3.9)$$

Sustituyendo valores

$$F_{aA} = \frac{0.47 \times 29369}{1.73} = 7979N$$

Para el rodamiento B

$$F_{aB} = \frac{0.47 \times F_{rA}}{K_A} \quad (3.10)$$

Sustituyendo valores

$$F_{aB} = \frac{0.47 \times 29369}{1.73} = 7979N$$

Cargas radiales dinámicas equivalentes

Para calcularlas utilizamos las ecuaciones 3.11 y 3.12

$$P_A = F_{rA} \quad (3.11)$$

$$P_B = 0.4F_{rB} + K_B F_{aB} \quad (3.12)$$

Sustituyendo

$$P_A = 29369N$$

$$P_B = 0.4 \times 0 + 1.73 \times 7979 = 13804N$$

Capacidad de carga dinámica radial básica requerida (C_{90})

Se calcula mediante la ecuación 3.13

$$C_{90} = f_A P \left[\frac{L_{na} S}{a_1 a_2 a_3 a_4 (1.5 \times 10^6)} \right]^{3/10} \quad (3.13)$$

Donde:

C_{90} = Capacidad de carga dinámica radial básica requerida en un rodamiento de una hilera de rodillos cónicos, para una vida de 90 millones de revoluciones; o 3000 horas de vida L_{10} a 500 r.p.m.

f_A = Factor de aplicación o de “experiencia”: Es un factor usado para tomar en cuenta aquellos efectos no cuantificables sobre la vida del rodamiento, de variables tales como cargas de choque, vibración, contaminación u otras condiciones ambientales $f_A = 1.35$

P = Carga dinámica radial equivalente aplicada

L_{na} = Vida requerida. Vida ajustada para una confiabilidad de (100 – n) %

S = r.p.m. de operación tomada como base.

a_1 = Factor de ajuste de la vida en función de la confiabilidad.

Para una confiabilidad de 90% $a_1 = 1$

a_2 = Factor de ajuste de la vida en función del material de que está hecho el rodamiento. Este factor es igual a 1 si se utiliza acero al carbón refinado producido en horno eléctrico.

a_3 = Factor de ajuste de la vida en función de las condiciones de trabajo.

$$a_3 = a_{3K} a_{3L}$$

a_{3K} = Factor de ajuste de la vida por zona de carga. Para una zona de carga de

180° (la mitad de los rodillos bajo carga) el factor es 1

$$a_{3L} = f_T f_V$$

f_T = Factor de temperatura

$$= 600 (1.8 \theta + 32)^{-1.8} S^{0.38} \quad \text{en donde } \theta \text{ es la temperatura de operación}$$

en °C $\approx 50^\circ$ y S son las RPM

$$f_T = \frac{600}{(1.8 \times 50 + 32)^{1.8}} (455)^{0.38}$$

$$f_T = 1.08$$

f_V = Un factor de viscosidad obtenido de tablas lo consideramos 1

por lo tanto

$$a_{3L} = 1.08 \times 1$$

$$a_{3L} = 1.08$$

de esta manera tenemos que

$$a_3 = a_{3K} a_{3L}$$

$$a_3 = 1.8 \times 1$$

$$a_3 = 1.8$$

a_4 = Factor de ajuste de la vida en función de la vida útil requerida. Normalmente se considera que un grupo de 100 rodamientos rinde su vida útil cuando 10% de ellos presenta fallas de descascarillado por fatiga que no excede de 6 mm^2

Existen diferentes criterios sobre el rendimiento de los rodamientos y de cómo estos deben ser seleccionados. Estos criterios incluyen la vida de fatiga del rodamiento, precisión de rotación, límite de temperatura, capacidad de velocidad, requerimientos de velocidad de carga, sonido etc.

Sustituimos los valores en la ecuación 3.13 y se tiene

$$(C_{90})_A = 1.35 \times 29369 \left[\frac{5000 \times 455}{1 \times 1 \times 1.8 \times 1 (1.5 \times 10^6)} \right]^{3/10} = 43851N$$

De igual manera se calcula para el rodamiento B

$$(C_{90})_B = f_A P \left[\frac{L_{na} S}{a_1 a_2 a_3 a_4 (1.5 \times 10^6)} \right]^{3/10} \quad (3.14)$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 3.14 tenemos

$$(C_{90})_B = 1.35 \times 13804 \left[\frac{500 \times 455}{1 \times 1 \times 1.08 \times 1 \times 1.5 \times 10^6} \right]^{10} = 20611 \text{ N}$$

Para seleccionar el conjunto de rodamientos tenemos que tomar en cuenta los siguientes factores:

- Diámetro de la flecha deseada.
- Diámetro interior de los alojamientos.
- Geometría de los rodamientos: ángulo de conicidad (factor K); tamaño de los rodillos
- Capacidad de carga dinámica radial equivalente requerida
- Economía del rodamiento seleccionado. Los rodamientos más populares son normalmente los más económicos.

Basándose en lo antes expuesto y haciendo uso de las tablas proporcionadas por los fabricantes seleccionamos los rodamientos adecuados como se expone en la tabla 3.3

Tabla 3.3 Selección de los rodamientos adecuados

RODAM	K	CONO	TAZA	CAPACIDAD BASICA REQUERIDA C_{90}	CAPACIDAD BASICA C_{90} (Tablas)	% DE CARGA
A	1.73	HM212049	HM212011	43851	54100	81
B	1.73	3782	3720	20611	29300	70

La figura 3.9 muestra las dimensiones del conjunto de rodamientos seleccionados y en la tabla 3.4 se observa el valor que le corresponde a cada literal en mm

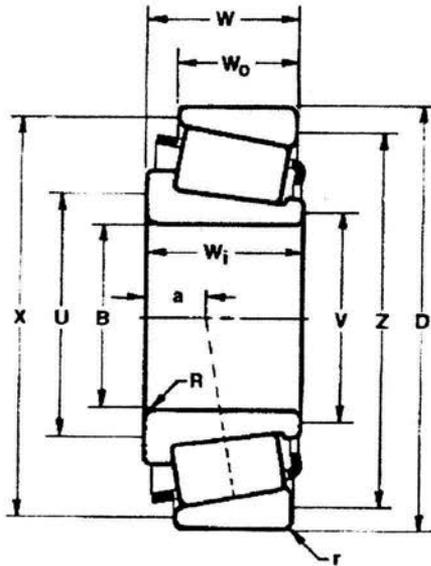


Figura 3.9 Dimensiones del rodamiento seleccionado

Tabla 3.4 Dimensiones de los rodamientos seleccionados (mm)

Rodamientos	B	Wi	R	a	U	V	D	Wo	r	X	Z	W
3782/3720	44.45	30.30	3.5	-8.1	58.0	52.0	93.26	23.81	3.3	88.0	82.0	30.16
HM212049/11	66.67	38.35	3.5	-10.9	82.0	75	122.23	29.71	3.3	116.0	108	38.1

3.12 AJUSTE DEL CALCULO PARA LOS RODAMIENTOS SELECCIONADOS

Habiendo seleccionado los rodamientos adecuados, ajustamos nuestros cálculos utilizando los datos reales.

La figura 3.10 muestra la distancia que existe entre los 2 rodamientos seleccionados así como sus centros efectivos de carga

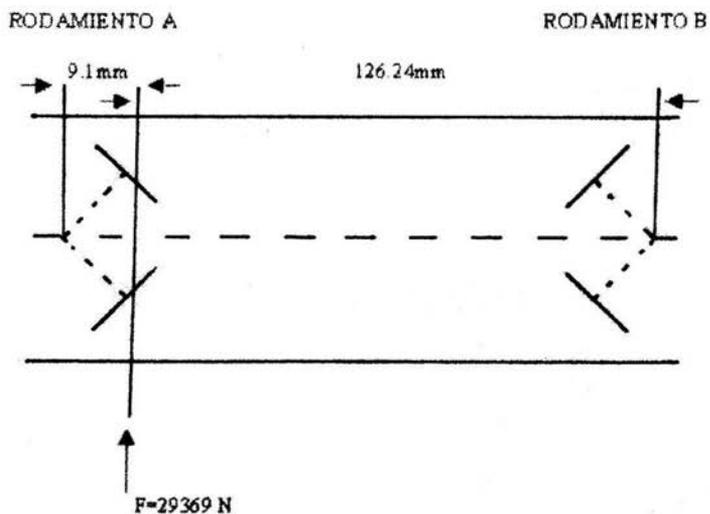


Figura 3.10 Distancia entre rodamientos seleccionados

Calculamos la fuerza radial en el rodamiento A y B utilizando las ecuaciones 3.14 y 3.15

$$F_{rA} = \frac{29369 \times 126.24}{135.34} = 27394.28 \text{ N} \quad (3.14)$$

$$F_{rB} = \frac{29369 \times 9.1}{135.34} = 1974.7 \text{ N} \quad (3.15)$$

Condición de carga axial

$$\frac{0.47 \times 27394.2}{1.73} > \frac{0.47 \times 1974.7}{1.73} \quad (3.16)$$

$$7442.37 > 536.48$$

Calculamos las cargas dinámicas equivalentes utilizando las formulas 3.11 y 3.12

$$P_A = F_{rA}$$

$$P_A = 27320.5N$$

$$P_B = 0.4F_{rB} + K_B F_{aB}$$

Calculamos con la ecuación 3.17 la F_{aB}

$$F_{aB} = 0.47 \frac{F_{rA}}{1.73} \quad (3.17)$$

Sustituyendo

$$F_{aB} = 0.47 \frac{27320.5}{1.73} = 7422.33$$

Sustituyendo en la ecuación 3.12 tenemos

$$P_B = 0.4 \times 1974.7 + 1.73 \times 7422.33 = 13629.88 N$$

Teniendo los datos anteriores, podemos hacer el cálculo de vida de los rodamientos seleccionados utilizando las ecuaciones 3.18 y 3.19

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 a_4 \left(\frac{C_{90}}{P} \right)^{10/3} \left(\frac{1.5 \times 10^6}{S} \right) \text{ horas} \quad (3.18)$$

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 a_4 \left(\frac{C_{90}}{P} \right)^{10/3} \left(90 \times 10^6 \right) \text{ revoluciones} \quad (3.19)$$

Calculamos para el rodamiento A

$$L_{na} = 1.08 \left(\frac{54100}{27394 \cdot 3} \right)^{10/3} \left(\frac{1.5 \times 10^6}{455} \right) = 34277.5 \text{ horas}$$

Calculamos las revoluciones utilizando la ecuación 3.19

$$L_{na} = 1.08 \left(\frac{54100}{27394 \cdot 3} \right)^{10/3} \left(90 \times 10^6 \right) = 935776789 \text{ revoluciones}$$

Convertimos a Km.

$$\text{Kilometros}_A = \frac{\pi \times 1049}{10^6} \times 935776789 = 3083384 \text{ Km}$$

Calculamos para el Rodamiento B

$$(L_{na})_B = 1.08 \left(\frac{29300}{13629 \cdot 88} \right)^{10/3} \left(\frac{1.5 \times 10^6}{455} \right) = 45648 \text{ horas}$$

Calculamos las revoluciones.

$$L_{na} = 1.08 \left(\frac{29300}{13629 \cdot 88} \right)^{10/3} (90 \times 10^6) = 1246020277 \text{ revoluciones}$$

Convertimos a Km.

$$\text{Kilometros}_B = \frac{\pi \times 1049}{10^6} \times 1246020277 = 4106307 \text{ Km}$$

Ahora podemos calcular la vida del conjunto de rodamientos, para esto utilizamos la ecuación

3.20.

$$(L_{10})_{A-B} = \left[\left(\frac{1}{L_{10 A}} \right)^{3/2} + \left(\frac{1}{L_{10 B}} \right)^{3/2} \right]^{-2/3} \quad (3.20)$$

Sustituyendo

$$(L_{10})_{A-B} = \left[\left(\frac{1}{34277 \cdot 5} \right)^{3/2} + \left(\frac{1}{45648} \right)^{3/2} \right]^{-2/3}$$

quedando

$$(L_{10})_{A-B} = 24327 \cdot 71 \text{ horas}$$

Calculamos las revoluciones

$$\text{Revoluciones}_{A-B} = 24327.71 \times 60 \times 455 = 664146663 \text{ rev}$$

Convertimos a Km

$$\text{Kilometros}_{A-B} = \frac{\pi \times 1049}{10^6} \times 664146663 = 2183363 \text{ Km}$$

3.13 AJUSTES

El diseño de un rodamiento de rodillos cónicos permite que exista un “juego” (reglaje) durante su montaje, de tal modo que se le aplique el valor óptimo de acuerdo con las necesidades de funcionamiento, con total independencia del ajuste de sus pistas en ejes y alojamientos. Esto permite utilizar amplias tolerancias de mecanizado en los ejes y los alojamientos, y a la vez aplicar a las pistas los ajustes que se juzguen más convenientes de acuerdo al trabajo a desarrollar por el rodamiento.

La elección de los ajustes a emplear dependerá de los siguientes parámetros:

- Cuál sea la pista giratoria y cual la estacionaria.
- Tipo de disposición (rodamiento de una o dos hileras de rodillos)
- Magnitud y dirección de las cargas
- Condiciones de funcionamiento particulares, como choques, vibraciones y sobrecargas.
- Formas de montaje y reglaje de los rodamientos.
- Secciones y materiales de ejes y alojamientos

3.14 CRITERIOS GENERALES

Una buena regla de uso general consiste en ajustar con interferencia (apriete) todas las pistas que giren, mientras que las estacionarias podrán ajustarse con interferencia o con holgura, según sea necesario en función de las necesidades de la aplicación y la forma de su montaje.

Los ajustes recomendables para la mayoría de las aplicaciones industriales y automotrices, se muestran en tablas que proporcionan los fabricantes de rodamientos.

3.15 REGLAJE

El reglaje de un rodamiento de rodillos cónicos es la operación realizada durante su montaje con el objeto de conseguir una determinada holgura (juego), o interferencia (precarga) axiales entre sus pistas interior y exterior. Esta posibilidad que tienen los rodamientos de rodillos cónicos de establecer su reglaje durante su montaje es una ventaja de singular importancia. Gracias a ella podrá conseguirse un optimo funcionamiento en cualquier aplicación, a diferencia de lo que sucede a la gran mayoría de tipos de rodamientos, cuyo reglaje interno puede ser controlado tan solo por las interferencias de sus pistas con ejes y alojamientos, en los de rodillos cónicos es posible jugar con el desplazamiento axial relativo entre sus dos pistas para obtener el reglaje mas adecuado para cada aplicación concreta.

3.16 JUEGO

Es cuando existe una holgura axial entre los rodillos y las pistas, esto origina una posibilidad medible de desplazamiento relativo entre eje y alojamiento al aplicar una ligera fuerza axial primero en un sentido y luego en el opuesto mientras se rota ligeramente el eje

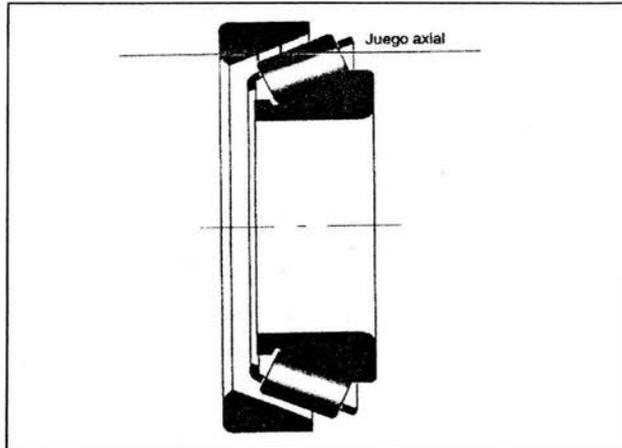


Figura 3.11 Juego interno en un rodamiento de rodillos cónicos

El reglaje que se obtiene durante el proceso de montaje de los rodamientos es conocido como reglaje a temperatura ambiente o en frío antes de que estos entren en servicio.

Cuando empieza a trabajar, el reglaje en frío se altera como consecuencia de los cambios en las condiciones ambientales especialmente las dilataciones térmicas y las deformaciones bajo carga, originándose lo que se conoce como reglaje de funcionamiento

3.17 AJUSTE DE BALEROS DE RUEDA EN EJES NO MOTRICES

Es muy importante ajustar correctamente los baleros de ruedas ya que al hacerlo mal provoca que se deterioren prematuramente.

Una encuesta reveló que más del 60% de los baleros que están circulando, están mal ajustados, ya que los métodos utilizados por la gran mayoría de los mecánicos son muy deficientes y desconocen las especificaciones de los fabricantes, por lo que los malos ajustes son muy costosos para la industria del autotransporte.

El mal ajuste no afecta solo al rodamiento sino también a otras partes del eje como la espiga, el reten, los componentes del freno, la llanta y finalmente la economía del combustible.

A continuación se describe los pasos para ajustar correctamente los baleros de rueda en un eje delantero no motriz:

1. - Eleve el vehículo hasta que las llantas se separen del piso
2. - Quite los tornillos del empaque y la tapa de la maza.
3. - Use un maneral de torsión para apretar la tuerca de ajuste a 100 lb-ft para que el balero se asiente con el reten, simultáneamente hay que hacer girar la rueda, esto nos dará la certeza de que la jaula del balero y la carrera del reten, estén completamente asentados.
4. - Afloje la tuerca completamente y luego apriete nuevamente a 20 lb-ft mientras hace girar la llanta como se muestra en la figura 3.12

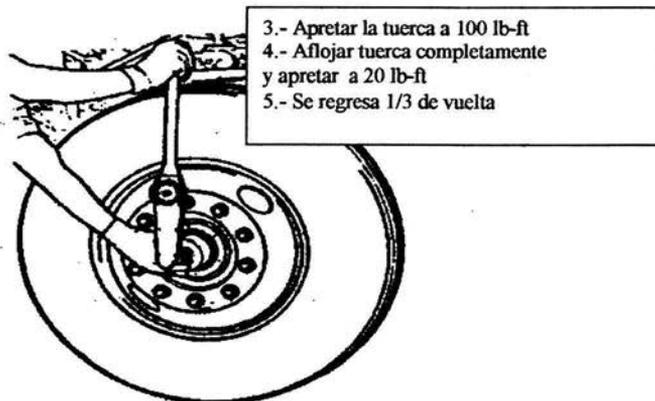


Figura 3.12 Apretar tuerca de ajuste

5. - Regrese 1/3 de vuelta.
6. - Se instala la tuerca de apriete
7. - Se ajusta la tuerca de apriete según el diámetro de ésta
8. - Mida el juego lateral empujando y estirando sobre los lados mientras se observa el reloj indicador. El juego lateral será el viaje total y debe ser de 0.001-0.005 pulgadas como se muestra en la figura 3.13



Figura 3.13 Medición del juego lateral utilizando un reloj indicador

9. - Baje el vehículo al piso y verifique su operación correcta.
- Si el reloj indicador marca lecturas fuera de rango, repita nuevamente el procedimiento, si después de varios intentos sigue dando lecturas fuera de rango, puede ser debido a que la espiga o las tuercas están fuera de tolerancia, por lo que hay que corregir primero este problema.
- Las especificaciones antes mencionadas se encuentran en las tablas 3.5 y 3.6

Tabla 3.5 Especificaciones para ajuste de baleros de rueda (Especificaciones técnicas de DIRONA)

TIPO DE EJE	EJE FRONTAL	EJE SENCILLO Y EJE TANDEM	EJE REMOLQUE
AJUSTE INICIAL DE TUERCA DE AJUSTE	100 lb-ft Y REGRESA 1 VUELTA	100 lb-ft Y REGRESA 1 VUELTA	100 lb-ft Y REGRESA 1 VUELTA
AJUSTE FINAL DE TUERCA DE AJUSTE	20 lb-ft Y REGRESA 1/3 DE VUELTA	50 lb-ft Y REGRESA 1/3 DE VUELTA	50 lb-ft Y REGRESA 1/3 DE VUELTA
RANGO DE JUEGO LATERAL	0.001-0.005 in	0.001-0.010 in	0.001-0.010 in

Tabla 3.6 Torque para tuerca de apriete

(Especificaciones técnicas de DIRONA)

TIPO DE EJE	MEDIDA DE TUERCA DE APRIETE	ESPECIFICACIONES DE TORQUE
EJE FRONTAL NO MOTRIZ	MENOR DE 2-5/8	200-300 lb-ft
	MAYOR DE 2-5/8	250-400 lb-ft
EJE TANDEM EJE TRASERO SENCILLO	MENOR DE 2-5/8	200-300 lb-ft
	MAYOR DE 2-5/8	250-400 lb-ft
EJE REMOLQUE	MENOR DE 2-5/8	200-300 lb-ft
	MAYOR DE 2-5/8	250-400 lb-ft

CAPITULO 4 MANTENIMIENTO Y SERVICIO

4.1 MONTAJE

El método de montaje de los rodamientos afecta en gran medida a su tiempo de vida, por este motivo se debe prestar mucha atención. Sus características deben de ser estudiadas con atención previa y a continuación ser montados de manera correcta. Se recomienda inspeccionar con detalle los procesos de montaje que a continuación se describen.

- Limpieza de rodamientos y piezas asociadas
- Comprobación de dimensiones y acabado de las piezas asociadas
- Procedimiento de montaje.
- Inspección posterior al montaje.
- Utilización de lubricante adecuado

Por otro lado, el lugar de trabajo, las herramientas, los rodamientos, los soportes y otros componentes deben mantenerse alejados de donde pueden ser contaminados con suciedad, etc. Especialmente los rodamientos deben manejarse con mucho cuidado. No deben ser desempacados hasta cuando vayan a ser utilizados.

Impida que los rodamientos se dejen caer o sean impactados ya que un mal manejo puede causar en ellos daños graves. Coloque un papel encerado o película de vinilo en el piso, de tal manera que la suciedad y materiales extraños no se introduzcan en el rodamiento. Si existe el caso en el que el rodamiento se necesite golpear utilice un mazo de cobre y golpee ligeramente

El muñón del cilindro y cada parte del soporte deben ser medidos cuidadosamente, verificando el diámetro de las partes en el ajuste, cuello del muñón, del cilindro, cilindrada del muñón, angularidad de los respaldos en el soporte en donde apoya el rodamiento.

Cuando este presionando un cono sobre el eje es importante que el cono no salga de su alineación y no se causen daños a las jaulas, se debe de utilizar la herramienta correcta y se debe de introducir el rodamiento lentamente en el eje hasta asentar perfectamente.

4.2 TECNICAS DE INSPECCION

Para asegurar una larga vida y costos de mantenimiento reducidos de los rodamientos, es muy importante emplear prácticas correctas para la instalación e inspección de los mismos. Estas practicas incluyen el desmontaje del rodamiento usado, limpieza, inspección y reinstalación o cambio por uno nuevo.

En algunos casos, los rodamientos han sufrido daños irreparables, y se requiere rodamientos nuevos. Si el rodamiento ha sido dañado prematuramente no hay que desecharlo, ya que contiene pruebas que ayudarán a los especialistas a determinar la causa de los daños y a adoptar medidas correctivas para el producto o aplicaciones, pero si los rodamientos han sido instalados y montados adecuadamente, debe esperarse una larga vida sin problemas.

Para instalar o desmontar rodamientos, siempre debe usarse gafas de seguridad o anteojos protectores para proteger los ojos contra fragmentos.

No es necesario desarmar todo el equipo sólo para inspeccionar los rodamientos. Si un equipo va a ser desarmado para una inspección o reparación general, los rodamientos deben ser inspeccionados en esa oportunidad. En muchos casos, el costo del desarmado y reparación es mayor que el reemplazo de los rodamientos en condiciones dudosas.

El desmontaje de los rodamientos debe efectuarse con mucho cuidado. Los rodamientos, ejes y alojamientos podrían sufrir daños durante el procedimiento de desmontaje. Los extractores de uso común están disponibles comercialmente y funcionan satisfactoriamente.

Cuando el extractor se apoye sobre el cono se debe de tener cuidado de que éste no toque la jaula y esto se verifica girando la jaula con la mano después de que a sido montado el extractor en su posición.

Después de haber sido desmontado el rodamiento, debe limpiarse perfectamente lavándolo en una solución líquida como queroseno o alcoholes minerales. Es necesaria una limpieza completa para quitar cualquier suciedad o contaminación para que permita una inspección minuciosa. Nunca hay que usar vapor o agua caliente para lavar rodamientos, debido a que la corrosión se forma en muy poco tiempo.

Después de que el rodamiento ha sido limpiado hay que secarlo con aire comprimido. La corriente de aire tiene que ser dirigido desde un extremo del rodillo hasta el otro lado sosteniendo la jaula con el pulgar.

Nunca hay que girar el rodamiento cuando se le está aplicando aire comprimido, la fuerza de este podría provocar que los rodillos puedan salir expulsados.

El próximo paso de la inspección del rodamiento es determinar si puede volverse a utilizar. Cualquier rodamiento que muestre señales de descascarillado por fatiga o decoloración por el calor debe de ser inmediatamente reemplazado por un rodamiento nuevo. Cualquier rodamiento que este oxidado o tenga la jaula dañada debe ser reemplazado por uno nuevo.

No hay que volver a instalar un rodamiento en un alojamiento o eje dañado. Los daños del asiento del cono o taza pueden ser reparados con camisas adecuadamente ajustadas.

Los ejes pueden ser reparados rellenándolos con metal y remaquinándolos al tamaño correcto

Después de que el rodamiento ha sido limpiado, inspeccionado y se ha comprobado que está en condiciones satisfactorias, y si no va ha ser usado de inmediato, debe sumergirse en aceite y envuelto en papel limpio resistente al agua. Los rodamientos deben guardarse en un lugar limpio y seco y no deben ser desenvueltos hasta el momento de ser instalados.

Nunca hay que cambiar solo la parte averiada o la más accesible del rodamiento pues se creó que es la forma más económica y rápida de solucionar un problema de reparación Sin embargo hay que considerar lo siguiente:

- Las tazas y conos de los rodamientos están diseñados para funcionar como un conjunto hermanado.
- Si una pista del rodamiento está averiada, también queda afectada gran parte de la vida útil de la pista hermanada, aun si no muestra señales visibles de daños
- Si no reemplaza las 2 partes al mismo tiempo, resultará en un costo mayor a mediano plazo

Los principales fabricantes de rodamientos en el mundo, recomiendan que se reemplace conos y tazas de la misma marca ya que la geometría interna y características de los rodamientos varían entre fabricantes.

Los rodamientos están recubiertos por un aceite antioxidante y se empacan cuidadosamente antes de ser despachados de fabrica, hay que recordar las siguientes recomendaciones cuando se almacenen los rodamientos nuevos:

- Bajo condiciones ideales los rodamientos deben almacenarse en un lugar con una baja humedad (menos de 60% de humedad relativa)
- Los rodamientos nunca deben almacenarse en el piso sino en anaqueles y paletas localizadas al menos a 20 cm del piso.
- Las cajas de rodamientos no deben ser colocadas en pilas muy altas (figura 4.1)

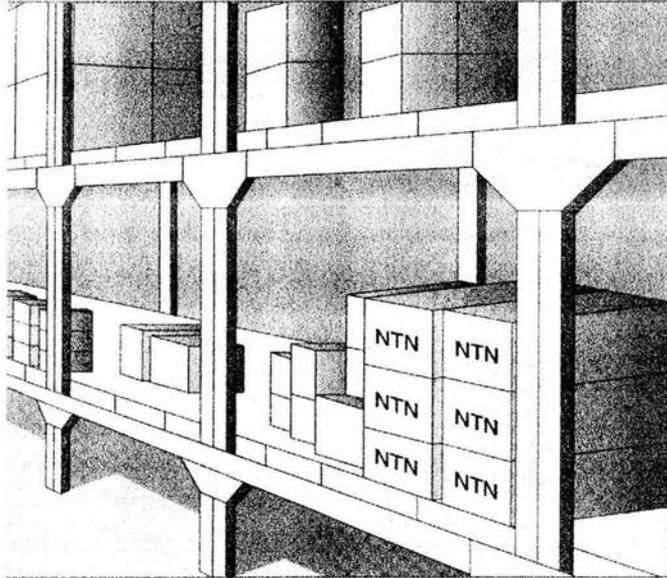


Figura 4.1 Almacenamiento correcto de rodillos

4.3 LUBRICACION

Un lubricante adecuado es fundamental para conseguir el buen funcionamiento de cualquier tipo de rodamiento, esto incluye la selección del lubricante idóneo, su empleo en la cantidad conveniente, y la correcta aplicación del mismo.

Tres son las funciones básicas que ha de desempeñar el lubricante:

1. - Separar las superficies rodantes, reduciendo su fricción
2. - Evacuar el calor generado
3. - Proteger contra la corrosión y evitar la entrada de suciedad.

Será importante analizar el tipo de lubricación que se produce en los rodamientos de rodillos cónicos, con especial atención al espesor de la película de lubricante que se forma en 2 puntos

concretos, los caminos de rodadura de los rodillos y la zona de contacto entre las cabezas de éstos y la pestaña de la pista interior.

En la figura 4.2 se observa la capa lubricante que separa las superficies de contacto

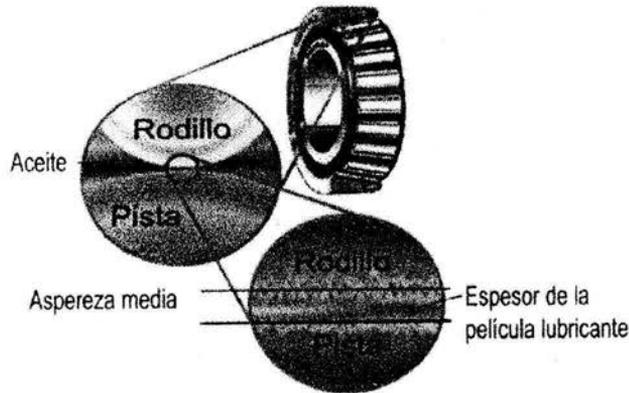


Figura 4.2 Capa de lubricante para separar las superficies de contacto

La vida de fatiga de un rodamiento depende de una compleja relación entre velocidad, cargas, lubricación, temperatura, reglaje y alineaciones. El papel que el lubricante juega en esta interacción viene regido fundamentalmente por la velocidad, la viscosidad y la temperatura, de modo que el efecto de cada uno de estos factores tiene en la vida del rodamiento gran importancia.

Existe un punto de contacto entre las cabezas de los rodillos y la pestaña de la pista interior donde las cargas son notablemente inferiores a las que existen entre las generatrices de los rodillos y las pistas de rodadura, el espesor de la película del lubricante en ella es muy superior al que existe en las zonas de rodadura (aproximadamente el doble).

No obstante, en condiciones severas de funcionamiento pueden producirse arranque y/o soldadura entre las crestas de las asperezas de las superficies en contacto. Este fenómeno puede producirse por velocidades excesivas, inadecuada viscosidad del lubricante o deficiente presencia

del mismo en esta zona de contacto. En estas circunstancias el empleo de aditivos de extrema presión mezclados en el lubricante puede ser de gran utilidad para evitar estos daños.

4.4 GRASAS LUBRICANTES

La forma más sencilla de lubricar cualquier tipo de rodamiento es emplear grasa. Una grasa lubricante es definida por el Instituto Nacional de Grasas Lubricantes de los Estados Unidos (NLGI) como un sólido o semi-fluido producto de la dispersión de un agente espesante o un líquido lubricante. Habitualmente, las grasas con la que se lubrican los rodamientos de rodillos cónicos, están constituidos por un aceite de petróleo de una determinada viscosidad, el cual se ha espesado hasta la consistencia deseada por medio de algún tipo de jabón metálico. La lubricación incorrecta representa hasta un 50% de los fallos de los rodamientos.

Las grasas de uso general son inadecuadas para necesidades especiales de rodamientos y pueden ocasionar mas problemas que beneficios.

Las grasas se componen de una mezcla de hasta un 80% de aceite base (mineral o sintético), y un espesante. En la gran mayoría de las grasas, ese espesante es un jabón metálico (jabón de litio).

El espesante que está hecho de una red de fibras de jabón, absorbe el aceite, tomando la consistencia característica que conocemos.

Para mejorar sus cualidades, las grasas lubricantes incorporan diversos aditivos que les confieren propiedades adicionales. Las más comunes son: agentes anticorrosivo, antioxidantes, aditivos EP (extrema presión), etc.

4.5 TERMINOS DE LUBRICACION

a) Consistencia/penetración de la grasa:

Es una medida de la rigidez de la grasa. La consistencia se clasifica de acuerdo con una escala desarrollada por la NLGI. Esta escala esta basada en el grado de penetración obtenido, permitiendo que se hunda un cono estándar en la grasa a una temperatura de 25°C durante un periodo de 5 segundos. La profundidad de penetración se mide en una escala en 10^{-1} mm y cuanto más alto es el número NLGI menor rígida será la grasa.

Tabla 4.1 Clasificación de grasas por numero de consistencia.

Clasificación de grasas por número de consistencia NLGI		
Numero NLGI	Penetración ASTM (10^{-1} mm)	Aspecto a temperatura ambiente
000	445-475	Muy fluido
00	400-430	Fluido
0	355-385	Semifluido
1	310-340	Muy blando
2	265-295	Blando
3	220-250	Semiduro
4	175-205	Duro
5	130-160	Muy duro
6	85-115	Extremadamente duro

b) Punto de goteo:

Se conoce como punto de goteo a la temperatura a la cual el espesante de la grasa empieza a gotear (liberar) el aceite por efecto del calor.

Esta propiedad es básica para determinar la operación satisfactoria de una grasa. Al llegar al punto de goteo, una grasa pierde su capacidad retentiva y suelta el aceite. Para determinar la

temperatura máxima de operación de la grasa, se debe restar 50° Centígrados de la temperatura de punto de goteo.

c) Punto de fusión:

El punto de fusión es la temperatura en la cual la grasa hace la transición de un estado sólido al líquido. Este punto tiene lugar normalmente a una temperatura más alta que el punto de goteo.

d) Aceite base:

Es el aceite que proporciona la lubricación bajo las condiciones de funcionamiento.

e) Espesante o jabón:

Es el sistema que mantiene juntos al aceite y/o los aditivos para permitir que funcione la grasa lubricante. El sistema de espesante está formado por jabones y no jabones.

El tipo de espesante confiere a la grasa sus características típicas. Los jabones están basados en litio, calcio, sodio, bario o aluminio. Los no jabones están basados en sólidos orgánicos o inorgánicos, arcilla de bentonita, poliurea, sílica gel.

f) Aditivos:

Los aditivos se utilizan para proporcionar características adicionales tales como protección contra el desgaste y la corrosión, efectos para reducir el rozamiento y prevenir daños bajo condiciones límite.

Las grasas lubricantes liberan aceite cuando permanecen almacenadas durante largos periodos de tiempo o en función de la temperatura. El grado de separación de aceite dependerá del espesante y del aceite base.

Para rueda de tractocamión se recomienda una grasa de extrema presión y una viscosidad del aceite base ISO 220 con una excelente estabilidad mecánica, resistente al agua y cuyo rango de

operación sea de -30 a 160 °C además de contar con aditivos que inhiban la corrosión y oxidación

Los principales fabricantes de rodamientos cuentan con grasas que tienen estas características.

4.6 CANTIDAD DE GRASA

La cantidad de grasa desempeña un papel importante para el buen funcionamiento del vehículo, así como otros factores como tipo de lubricante, viscosidad, grado etc.

Suministrar poca cantidad de grasa puede generar problemas como sobrecalentamiento hasta trabar el equipo debido a que el rodamiento se funde.

Suministrar mucha grasa provoca también problemas de aumento de temperatura al evitar la transmisión del calor del rodamiento al exterior. La grasa funciona en este caso, como un abrigo para el rodamiento, en lugar de ser un medio de transporte del calor al exterior, además como sabemos al comenzar a girar, el rodamiento tiende a purgar la grasa sobrante y este excedente muchas veces puede provocar dificultades en el movimiento de los rodillos y por lo tanto la temperatura aumentará y puede en unos casos atascar el rodamiento.

El nivel del incremento de la temperatura depende del nivel de velocidad. A mayor velocidad el rodamiento se calienta más. En algunos casos un sobrellenado ligero puede producir un manchado por lubricante.

En altas velocidades con sobre-engrasado, el rodamiento puede dañarse y fallar. Casos de altas temperaturas de operación están relacionados con la cantidad de grasa utilizada y la velocidad de dicha operación

Como recomendación general para determinar la cantidad de grasa a aplicar, se debe considerar el rellenar los espacios internos entre los rodillos.

En general se debe llenar el cono dos terceras partes de su espacio libre.

En la figura 4.3 se muestra en gris claro, la cantidad correcta de grasa que se debe aplicar en los rodamientos cónicos.

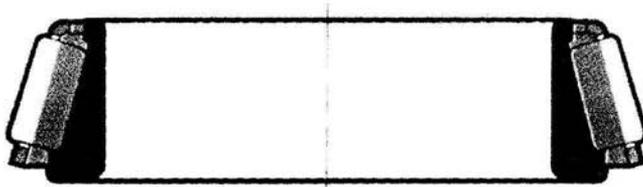


Figura 4.3 Cantidad de grasa para el rodamiento

Para la taza se recomienda que la parte interior de la misma (diámetro interior) se engrase con una capa ligera.

Para engrasar la maza se sugiere rellenar con grasa hasta el diámetro interior como se muestra en a figura 4.4 en donde el color gris claro alrededor de la maza indica la cantidad de lubricante apropiado

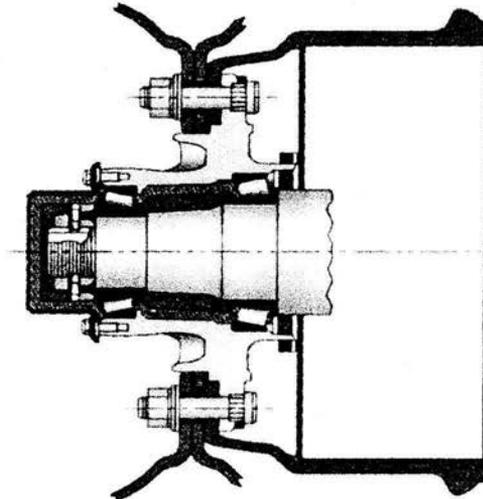


Figura 4.4. Cantidad de grasa en la maza

Normalmente el alojamiento del rodillo (maza) no debe rellenarse mas de la mitad de su espacio libre. Esto ayuda a que la grasa se expanda, no se salga por los reténes y no se bata

Los rodamientos de rodillos cónicos por su diseño funciona como una bomba de lubricante haciéndolo fluir del diámetro menor de los rodillos hacia el reborde del cono, como se indica en la figura 4.5

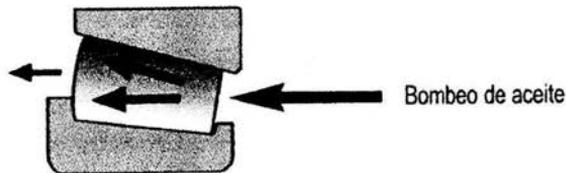


Figura 4.5 Flujo de lubricante en el rodamiento

Cuando se rebasa la velocidad del diseño del equipo y del rodamiento, el bombeo se ve afectado por la fuerza centrífuga generada por la alta velocidad de giro, así la capacidad de velocidad está limitada por la falta de lubricante que se puede producir en el reborde del cono y en el extremo mayor de los rodillos, la fuerza centrífuga tiende a dejar sin lubricante al rodamiento a mayor velocidad.

4.7 COMPATIBILIDAD DE GRASAS

Otro problema común relacionado con el uso de los lubricantes es su compatibilidad. Si se usa un lubricante en un equipo y por alguna razón se utiliza otro para rellenar, se pueden generar problemas de compatibilidad.

La incompatibilidad se produce porque los espesantes de la grasa son diferentes entre sí.

No se debe mezclar grasas con diferentes espesantes.

En caso de duda, mejor limpie bien el rodamiento para quitarle el lubricante anterior y replaselo con la nueva grasa disponible.

Los rodamientos nuevos al salir de fabrica son recubiertos por un anticorrosivo que protege su superficie contra corrosión.

Este anticorrosivo es compatible con los lubricantes comunes, así que no requiere que se limpie antes de instalarlo.

4.8 CICLOS DE RE-ENGRASE

Para determinar el periodo de re-engrase hay que tener en cuenta dos aspectos: la temperatura de operación y la eficiencia de los reténes.

Si las fugas en los reténes son frecuentes, se deberá re-engrasar continuamente y se tratará de mantenerlos en el mejor estado posible. Entre más alta es la temperatura de operación, más rápido se oxida la grasa lo que reduce su vida útil en casi un 50% por cada 10°C de aumento de temperatura.

A mayor temperatura de operación, más frecuente es el re-engrasado.

Las compañías de transporte pesado han encontrado altos rendimientos del rodamiento cuando cada 70 000 u 80 000 kilómetros, lo desmontan, lo limpian y lo inspeccionan.

Si el rodamiento se encuentra en buen estado, lo re-engrasan y lo vuelven a instalar con reténes nuevos por otro periodo igual de tiempo y así sucesivamente hasta agotar la vida útil del rodamiento.

4.9 LUBRICACIÓN POR ACEITE

El termino aceite se emplea para los lubricantes fluidos, por ejemplo los aceites lubricantes minerales que se obtienen de la fracción más pesada de la refinación del crudo.

La viscosidad es la propiedad física más importante de un aceite e indica que tan ligero o pesado es. Es decir indica cuál es la resistencia al flujo que posee un líquido.

Las condiciones de operación de los equipos, la velocidad y la temperatura, determinan la viscosidad del aceite que se requiere para la adecuada separación de las superficies en contacto.

Para altas velocidades una viscosidad baja es suficiente para mantener el espesor necesario de la película de lubricante.

Al contrario, para bajas velocidades la separación entre superficies se tiene que conseguir con mayor viscosidad del lubricante.

A temperaturas altas, la viscosidad disminuye y viceversa, por esto la temperatura de operación es un factor importante a considerar.

Para rodamientos de servicio pesado se recomienda utilizar un aceite con aditivos inhibidores de corrosión y oxidación y un aceite base de petróleo de alto índice de viscosidad.

El índice de viscosidad es una propiedad del aceite que nos indica cuanto varía la viscosidad del mismo con el aumento de la temperatura. Lo mejor es que el adelgazamiento del aceite sea el mínimo posible, por eso se prefieren aceites con altos índices de viscosidad, es decir mayores de 80.

4.10 PROCEDIMIENTO PARA LUBRICAR CON ACEITE

1.- Limpiar la superficie de la maza y el asiento del reten de la espiga.

2.- Lubricar los conos interior y exterior con lubricante limpio del mismo tipo del usado en el ensamble de la maza.

Instalar los retenes nuevos

3.- Deslizar el rodamiento interior de la espiga, instalar la maza en la espiga cuidando de no dañar las cuerdas de la espiga o los retenes.

4.- Deslizar el cono exterior en su sitio ajustar los rodamientos y colocar la tapa adecuada.

Llene lentamente con aceite el extremo de la rueda por el orificio de la tapa de la maza permitiendo que fluya a través del rodamiento exterior, llene la cavidad de la maza.

Agregue aceite hasta que alcance el nivel marcado de la tapa de la maza. Como se indica en la figura 4.6

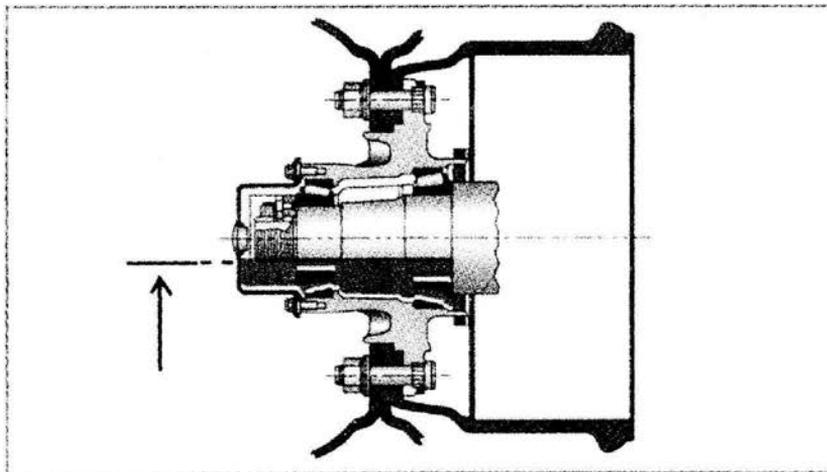


Figura 4.6 Llenar con aceite hasta la línea del nivel

4.11 PREGUNTAS MAS FRECUENTES EN LUBRICACION

¿En qué situaciones se usa grasa en vez de aceite para lubricar rodamientos?

La selección la hace el diseñador del sistema o equipo quien analiza las condiciones de operación esperadas

Generalmente es mejor lubricar con aceite, pero se utiliza convenientemente la grasa en:

A.- Lugares de difícil acceso para el mantenimiento.

B.- El uso de grasa es más económico, los aceites requieren retenes más eficaces y caros, especialmente en flechas verticales.

¿Cómo se puede identificar si la grasa debe cambiarse o si está degradada o sin vida útil.?

Cuando una grasa ha llegado al final de su vida útil, su color se oscurece tornándose café oscuro o negro y presenta un color ácido lácteo. Su consistencia aumenta y si estuvo operando a alta temperatura se vuelve sólida o pegajosa.

¿Qué apariencia tiene la grasa cuando se mezcla con otra que es incompatible ?

Principalmente se torna espumosa, su viscosidad y consistencia se reducen y tiende a licuarse.

¿Qué es más recomendable para lubricar ruedas motrices de tractocamión grasa o aceite?

Cuando las condiciones lo permiten es mejor lubricar con aceite, es decir los rodamientos en general duran mas cuando son lubricados con aceite.

Los rodamientos de las ruedas motrices que se lubrican con el mismo aceite del diferencial, generalmente tienen una mayor vida útil. Para ruedas delanteras de camión o de remolque se requiere instalar retenes para aceite y tapas traslúcidas para vigilar el nivel del aceite.

El aceite permite una lubricación mas fluida y limpia, sin embargo, requiere de inspecciones periódicas y buenas practicas de mantenimiento para garantizar que no se presenten

escurrimientos. Si este existe ocurre los rodamientos pueden quedarse rápidamente sin lubricante y provocar incluso hasta la separación de la rueda

CAPITULO 5

PRINCIPALES FALLAS Y SU PREVENCIÓN

5.1 INTRODUCCION

Todos los rodamientos se dañan con el tiempo aun si son instalados y operados correctamente.

Las pistas de rodadura y las superficies de contacto de los elementos rodantes están sujetas en forma continua a esfuerzos compresivos repetitivos lo que eventualmente causará el descascarillado de esas superficies.

La vida efectiva de un rodamiento se define como el número total de revoluciones (o el número de horas de operación) antes de que ocurra el descascarillado.

El rodamiento puede también fallar por atascamiento, fracturas, desgaste, corrosión, etc.

Estos problemas son causados por una selección o manejo inadecuado del rodamiento. Estos problemas pueden evitarse a través de una correcta selección, manejo y mantenimiento adecuado.

Sin embargo, las fallas por aplicaciones inadecuadas, diseño del rodamiento y mantenimiento son mas frecuentes que el descascarillado debido a la fatiga del material propiamente.

Generalmente los rodamientos pueden utilizarse hasta el final de su vida de fatiga si se manejan de manera apropiada.

Si ocurre una falla prematura puede deberse a una falla en la selección, manejo, lubricación y/o montaje del rodamiento.

Muchas veces es difícil determinar las causas reales de falla en los rodamientos porque existen muchos factores interrelacionados entre sí. Es posible sin embargo, prevenir la recurrencia de problemas similares considerando las posibles causas de acuerdo a la situación y condición del sistema en donde falló el rodamiento. También la ubicación de la instalación, condiciones de operación y la estructura que rodea al rodamiento deben ser tomados en consideración

En la tabla 5.1 se muestran las características y causas que producen diversos sonidos en los rodamientos

Tabla 5.1 Sonido de funcionamiento del rodamiento

SONIDO	CARACTERISTICAS	CAUSAS
Zumbido a Rugido	Intensidad y tono cambia con la velocidad de rotación	Resonancia. Asientos incorrectos (forma deficiente del eje). Deformación de los anillos. Vibración de las pistas o rodillos. Hendiduras.
Crujido	Se siente cuando se gira el rodamiento con la mano	Rayado de la superficie de la pista (regular). Rayado de los rodillos(irregular). Polvo, contaminación.
Rechinado	Notable a bajas velocidades Continuable a altas velocidades	Golpeteo en los bolsillos de la jaula (lubricante insuficiente). Reducción de juego interno.
Aullido	Sonido metálico fuerte que tiende a desaparecer cuando se aplica grasa.	Juego interno muy grande. Pobre lubricación o consistencia de la grasa.
Chillido	Sonido de astillado de metal a metal	Astillado de elementos rodantes y rebordes del rodamiento. Juego interno pequeño. Lubricación pobre
Chillido agudo	Generado irregularmente y es debido al rayado	Deslizamiento de las superficies de ajuste. Rayado de las superficies de ajuste.
Tintineo	Irregular y no cambia con la velocidad	Contaminante (polvo) en el rodamiento
Soplido	Calidad del sonido permanece igual aun si la velocidad cambia (suciedad). Calidad del sonido cambia con la velocidad (rayado)	Suciedad. Las pistas, superficies de los rodillos están ásperas
Soplido sucesivo	Regular y continuo a altas velocidades	Generado por la jaula Normal si el sonido es claro. Desgaste de la jaula Lubricante insuficiente
Gruñido	Continuo a altas velocidades	Rayado de los rodillos.

5.2 FALLAS EN RODAMIENTOS CONICOS Y SOLUCIONES

5.2.1 DESCASCARILLADO

El descascarillado se presenta muy frecuentemente tanto en la pista como en los rodillos debido principalmente a sobrecargas o entrada de material extraño figura 5.1

En la tabla 5.2 se muestran las causas y soluciones.

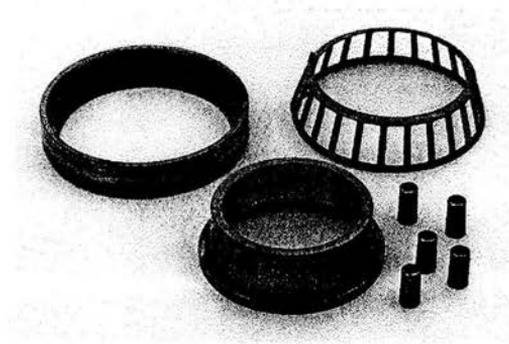


Figura 5.1 Descascarillado de la circunferencia de la pista del anillo interior. El anillo exterior y los rodillos presentan una coloración chocolate claro, la causa es por una precarga excesiva

Tabla 5.2 Descascarillado

Condiciones	Causas	Soluciones
Superficie de la pista está descascarillada. Superficie después del descascarillado es muy áspera	Fatiga del rodaje. El descascarillado puede ocurrir prematuramente debido a sobrecarga, carga excesiva debido al manejo inadecuado, falta de precisión en el eje o en el alojamiento, error en la instalación, entrada de objetos extraños oxidación etc.	<ul style="list-style-type: none">- Encontrar la causa de la carga excesiva.- Examine las condiciones de operación y utilice rodamientos con capacidades mayores.- Aumente la viscosidad del lubricante y mejore el sistema de lubricación.- Elimine los errores de instalación.

5.2.2 DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL

El desprendimiento de material son pequeñas astillas comúnmente provocado por una lubricación deficiente figura 5.2.

En la tabla 5.3 se muestran las causas y soluciones.



Figura 5.2 Desarrollo de desprendimiento del material a descascarillado en el anillo interior y los rodillos causado por una lubricación deficiente.

Tabla 5.3 Desprendimiento de material

Condiciones	Causas	Soluciones
El desprendimiento se caracteriza por ser un grupo muy pequeño de astillas. El desprendimiento también puede incluir grietas muy pequeñas que luego se convierten en astillas.	Es más probable que ocurra en rodamientos de rodillos. Tiende a ocurrir si las superficies de partes opuestas están ásperas o si las características de lubricación son deficientes. El desprendimiento puede desarrollarse en descascarillado.	<ul style="list-style-type: none">- Controlar la aspereza superficial y los contaminantes (polvo)- Selección adecuada del lubricante

5.2.3 DESCONCHADO

Son rajaduras en los extremos debido a practicas deficientes de montaje ó una precarga excesiva,

figura 5.3

En la tabla 5.4 se muestran las causas y soluciones.

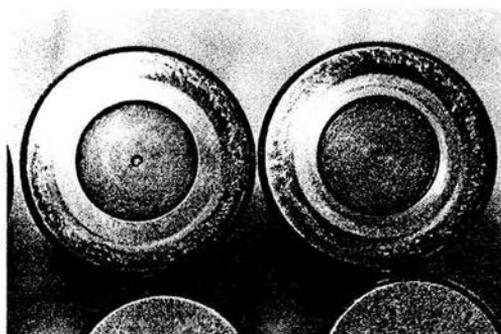


Figura 5.3 Desconchado cicloidal en las caras laterales (rasguños) causada por lubricación deficiente.

Tabla 5.4 Desconchado

Condiciones	Causas	Soluciones
Rayas que acompañan el atascamiento o frenado. Rayas de montaje en la dirección axial. Rayado en los extremos de los rodillos y rebordes guías. Marcas en la dirección de rotación en las pistas y superficies de contacto rodante.	Practica de montaje y desmontaje incorrecto. Rotura de la película grasa en las superficies de contacto debido a la carga radial excesiva, material extraño o precarga excesiva Deslizamiento o lubricante deficiente de los elementos rodantes.	<ul style="list-style-type: none">- Mejorar los procedimientos de montaje y desmontaje.- Mejorar las condiciones de operación.- Corregir la precarga- Seleccionar adecuadamente el lubricante.- Mejorar la eficiencia del sellado

5.2.4 MANCHADO

Se presenta en la superficie de rodadura debido a que los elementos rodantes patinan, esto es provocado por haberse elegido un lubricante inadecuado, figura 5.4

En la tabla 5.5 se muestran las causas y soluciones.



Figura 5.4 Manchado en la superficie de rodadura.

Tabla 5.5 Manchado

Condiciones	Causas	Soluciones
La superficie se torna rugosa y se adhieren partículas muy pequeñas.	Los elementos rodantes patinan durante el movimiento rodante y las características del lubricante son muy deficientes para prevenir el deslizamiento o patinaje.	<ul style="list-style-type: none">- Seleccione el lubricante óptimo capaz de crear una película de grasa estable.- Utilice un lubricante que contenga un aditivo de extrema presión.- Tome precauciones tales como un pequeño juego radial interno y una precarga que prevenga el deslizamiento.

5.2.5 DECOLORACIONES Y MOTEADO

Se presentan en la superficie de rodadura en forma de pequeñas “pecas”, debido a la entrada de material extraño ó a sobrecalentamiento, figura 5.5

En la tabla 5.6 se muestran las causas y soluciones.



Figura 5.5 Pista de rodadura esta moteada (con pecas) causada por picaduras eléctricas

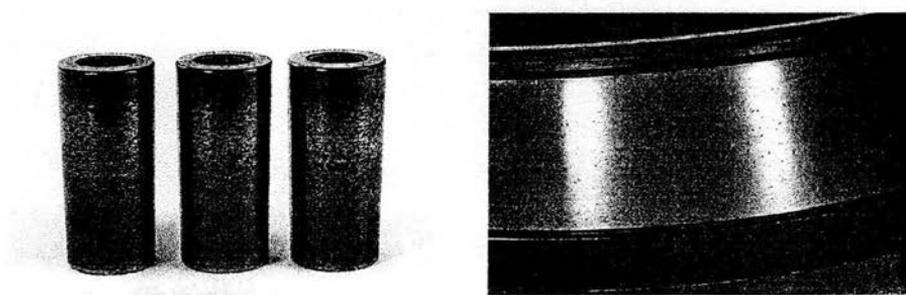
Tabla 5.6 Decoloraciones y moteado

Condiciones	Causas	Soluciones
<p>MOTEADO: La superficie está opaca y moteada (pecas). Las pecas son grupos de pequeñas abolladuras.</p> <p>DECOLORACION: El color de la superficie ha cambiado.</p>	<p>Entrada de material extraño. Lubricación deficiente. Coloración de templado debido al sobrecalentamiento. Acumulación de aceite deteriorado en la superficie.</p>	<p>MOTEADO:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mejorar la eficiencia del sellado. - Mejorar el sistema de lubricación. <p>DECOLORACION:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las manchas de grasa se pueden limpiar con un solvente orgánico. - Si la rugosidad no se puede remover a través del pulimiento con lija, entonces es óxido o corrosión. Si se puede remover completamente entonces es color de templado debido a sobrecalentamiento.

5.2.6 INDENTACIONES

Son hendiduras que se presentan en toda la superficie de contacto rodante debido a la presencia de material extraño en el lubricante, figura 5.6

En la tabla 5.7 se muestran las causas y soluciones.



Indentaciones en toda la superficie de contacto rodante. (Color de templado en los extremos)
Causada por la presencia de objetos extraños en el lubricante.

Indentaciones en la superficie de la pista causado por objetos extraños atrapados el interior del rodamiento.

Figura 5.6 Aspecto de indentaciones en pista y elementos rodantes

Tabla 5.7 Indentaciones

Condiciones	Causas	Soluciones
Hendiduras en la superficie de la pista producida por objetos extraños sólidos en el interior del rodamiento o por impacto.	Entrada de objetos extraños sólidos. Partículas atrapadas del descascarillado. Impacto debido al manejo inadecuado.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenga el rodamiento libre de materias extrañas. - Revise si existe descascarillado en el rodamiento. - Revise si la grasa está libre de impurezas antes de aplicar. - Mejore los procesos de manejo y montaje.

5.2.7 ASTILLADO

La presencia de astillas de gran tamaño muy frecuentemente son provocadas por un deficiente montaje, figura 5.7

En la tabla 5.8 se muestran las causas y soluciones.

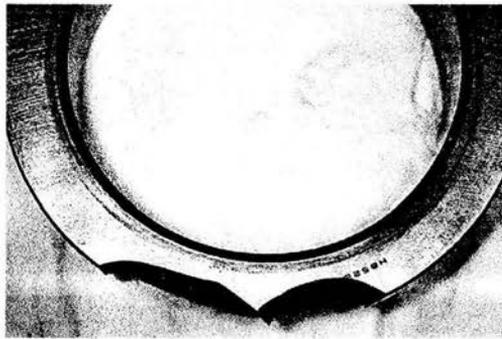


Figura 5.7 Astillado del reborde causado por golpes originados durante el montaje

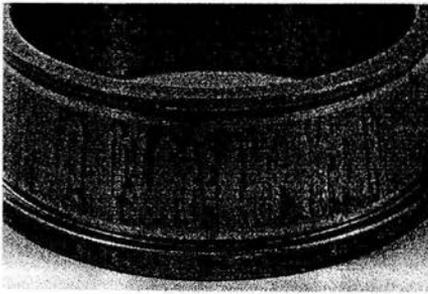
Tabla 5.8 Astillado

Condiciones	Causas	Soluciones
Astillado parcial del anillo exterior, interior o elementos rodantes	Objetos sólidos grandes atrapados en el interior del rodamiento. Impactos o cargas excesivas. Manejo inadecuado.	<ul style="list-style-type: none">- Diagnostico y corrección de las cargas excesivas y de impacto.- Mejorar los procedimientos de montaje.- Mejorar las características de sellado

5.2.8 OXIDACION Y CORROSION

Se presenta la oxidación y corrosión frecuentemente por una mala elección del lubricante ó por un deficiente manejo del rodamiento, figura 5.8

En la tabla 5.9 se muestran las causas y soluciones.



Oxidación de la superficie de la pista a intervalos iguales a la separación de los Rodillos causado por la presencia de agua en el lubricante.



Oxidación de la superficie de la pista a intervalos iguales a la separación de los rodillos causado por la presencia de agua en el lubricante.

Figura 5.8 Aspecto de oxidación y corrosión en rodamientos cónicos

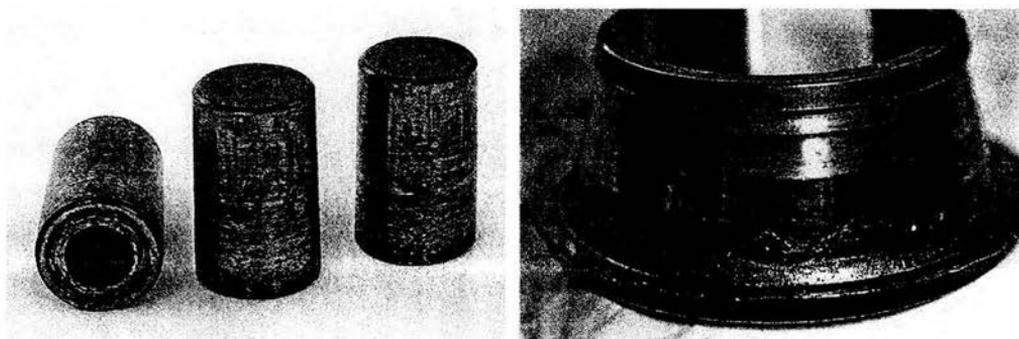
Tabla 5.9 Oxidación y corrosión

Condiciones	Causas	Soluciones
Corrosión u oxidación de las superficies de los anillos del rodamiento y de los elementos rodantes. Algunas veces se da la oxidación a intervalos iguales a la distancia entre los elementos rodantes.	Entrada de agua o material corrosivo. Condensación de la humedad existente en el aire. Condiciones de empaque y manejo del rodamiento con las manos descubiertas.	<ul style="list-style-type: none"> - Mejore la eficiencia del sellado. - Inspeccione periódicamente el lubricante. - Maneje el rodamiento con cuidado. - Utilice medidas para prevenir la oxidación cuando el rodamiento no trabaja por un periodo prolongado.

5.2.9 ATASCAMIENTO O FRENADO

Sucede cuando el rodamiento trabaja a temperaturas muy altas, debido principalmente a la falta de lubricación o una precarga excesiva, figura 5.9

En la tabla 5.10 se muestran las causas y soluciones



Decoloración, desconchado y adhesión debido al atascamiento en las superficies de contacto rodante y caras laterales de los rodillos.

Extremo mayor de la pista, superficie de la cara y reborde que sufrieron atascamiento causada por lubricación deficiente.

Figura 5.9 Aspecto de atascamiento en pista y elementos rodantes

Tabla 5.10 Atascamiento o frenado

Condiciones	Causas	Soluciones
Los rodamientos generan calor y se atascan porque el calor impide la rotación. Decoloración, ablandamiento en la superficie de la pista, de las áreas de contacto y los rebordes.	Disipación insuficiente de calor generado por el rodamiento. Lubricación deficiente o lubricante inadecuado, juego interno muy pequeño, carga o precarga excesiva y errores de instalación.	<ul style="list-style-type: none"> - Mejore la disipación de calor del rodamiento. - Seleccione un lubricante adecuado. - Evite el desalineamiento. - Mejore el juego interno y la precarga. - Mejore las condiciones de operación.

5.2.10 DESGASTE Y DESGASTE CORROSIVO

Son partículas de color rojo oxido que forman huecos debido a un mal ajuste y a una mala elección del lubricante, figura 5.10

En la tabla 5.11 se muestran las causas y soluciones



Figura 5.10 Desgaste corrosivo en la superficie del diámetro exterior

Tabla 5.11 Desgaste

Condiciones	Causas	Soluciones
Las superficies se desgastan produciendo partículas de color rojo oxido que forman huecos. En las superficies de las pistas se forman indentaciones llamadas falsas hendiduras separadas a intervalos iguales a distancia entre los elementos rodantes.	Si una carga vibratoria actúa sobre los elementos en contacto produciendo una oscilación de amplitud pequeña, el lubricante es impulsado fuera de las áreas de contacto y las partes se desgastan notablemente. Lubricación deficiente. Vibración, reflexión del eje, errores de instalación, ajuste holgado.	<ul style="list-style-type: none"> - El anillo interior y exterior deben embalarse por separado para efectos del transporte. Si no son de tipo separables, los rodamientos deben ser precargados. - Seleccione adecuadamente el lubricante. - Arregle el eje o alojamiento. - Mejore el ajuste.

5.2.11 PICADURAS ELECTRICAS

Son pequeñísimas picaduras que a simple vista no se distinguen. Esto debido a que el rodamiento fue sometido a un paso de corriente eléctrica, figura 5.11

En la tabla 5.12 se muestran las causas y soluciones.

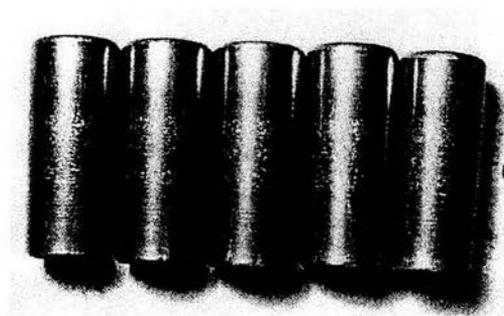


Figura 5.11 Picadura eléctrica en la mitad de la superficie de contacto

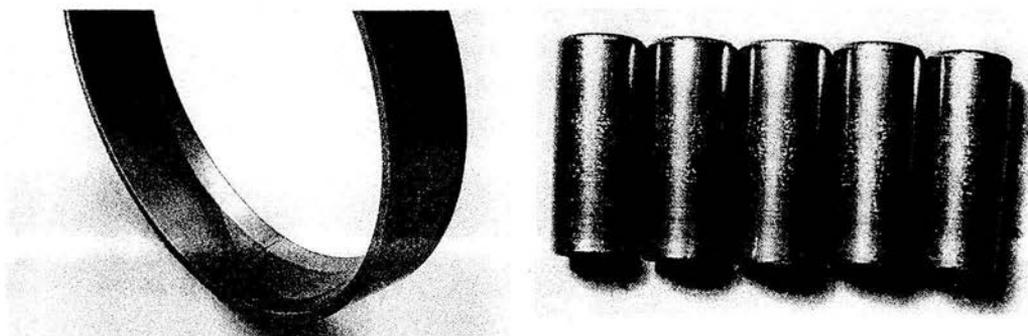
Tabla 5.12 Picaduras eléctricas

Condiciones	Causas	Soluciones
A simple vista la superficie se ve manchada y estas manchas son grupos de pequeñas picaduras vistas a través de un microscopio. Si continúa el desarrollo, se produce una superficie corrugada.	Corriente eléctrica pasa a través del rodamiento y se generan chispas que funden la superficie de las pistas.	- Evite el flujo de corriente eléctrica desviándola con anillos deslizantes o aislando eléctricamente el rodamiento.

5.2.12 DISTORSION DEL CAMINO DE RODADURA

Se presentan marcas debido a que el eje como el alojamiento no ajustan debido a que están fuera de tolerancias, figura 5.12

En la tabla 5.13 se muestran las causas y soluciones.



El camino de rodadura en la superficie de la pista está desviado

Las marcas de contacto en la superficie de contacto rodante no son iguales.

Figura 5.12 Distorsión del camino de rodadura

Tabla 5.13 Distorsión del camino de rodadura

Condiciones	Causas	Soluciones
El camino de rodadura de los elementos rodantes en las pistas es oblicuo o sesgado.	Deformación o inclinación de los anillos del rodamiento debido a la poca precisión de los ejes y/o alojamientos. Poca rigidez del eje o alojamiento. Deflexión del eje debido a un juego interno excesivo.	<ul style="list-style-type: none"> - Mejore la precisión en el maquinado del eje y del alojamiento. - Aumentar la rigidez del eje y del alojamiento. - Seleccione el juego interno adecuado.

5.2.13 DAÑOS EN LA JAULA

Se presentan daños en la jaula por un mal montaje o presencia de material extraño de gran tamaño, figura 5.13

En la tabla 5.14 se muestran las causas y soluciones

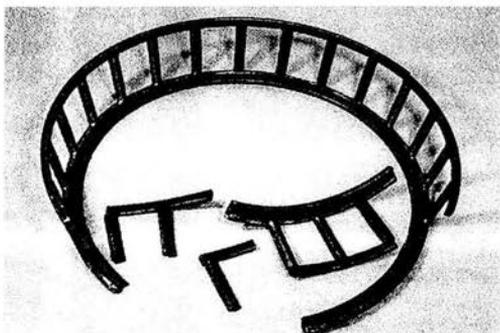


Figura 5.13 Jaula fracturada

Tabla 5.14 Daños en la jaula

Condiciones	Causas	Soluciones
Desgaste de las cavidades o guías.	Carga de momento excesivo rotación a velocidades excesivas o grandes fluctuaciones de velocidad. Lubricación deficiente. Presencia de material extraño. Deficiencia en el montaje	<ul style="list-style-type: none">- Mejore las condiciones de las cargas.- Mejore el lubricante y el sistema de lubricación- Maneje los procedimientos de manejo y montaje.

En la tabla 5.15 se puede ver rápidamente. las fallas y los daños que estas provocan

Tabla 5.15 Análisis de daños

	Fugas por el sello	Fractura del rodillo y/o pista de rodadura	Desgaste/rayado del reborde del rodillo	Fatiga prematura	Desprendimiento superficial	Pérdida de ajuste	Aumento descentrado, vibración, oscilación	Aumento de calor generado/quemaadura del rodamiento/fundidos en la caja	Par de torsión alto en el arranque	Movimiento relativo en el asiento del cono y la taza	Acanalamiento	Oxidación/corrosión	Par de torsión errático	Tazas giran dentro del alojamiento/conos giran sobre el eje	Desgaste/rotura de la cavidad de la jaula; falla en el perno	Brinle/falso brinle/vibro desgaste
Aceleraciones, radial y/o axial																
Arranques en frío																
Ambiente sucio																
Arco eléctrico																
Mala disipación del calor																
Alojamiento contraído o fuera de redondo																
Elevadas cargas de impacto																
Cargas rotativas																
Cargas muy altas																
Cargas muy ligeras																
Aditivos EP para lubricantes																
Baja viscosidad de lubricantes																
Alta viscosidad de lubricantes																
Oscilación, rotación parcial																
Altas velocidades																
Velocidades muy lentas/cero																
Alta temperatura																
Vibraciones																
Vibración torsional																
Atmósfera química																
Desalineamiento																

CONCLUSIONES

Después de concluir el presente trabajo se pueden establecer las conclusiones siguientes:

- 1.- Se conocieron los antecedentes históricos de los rodamientos, así como su principal función.
- 2.- Se describieron los elementos que integran un rodamiento.
- 3.- Se mostró la clasificación y las características de los rodamientos.
- 4.- Se estudiaron a fondo las características físicas y técnicas de los rodamientos cónicos.
- 5.- Se mencionaron los principales tipos de rodamientos cónicos.
- 6.- Se establecieron las funciones de cada elemento que integran al eje frontal no motriz de tractocamion.
- 7.- Se conocieron los tipos de cargas que actúan y que pueden soportar los rodamientos.
- 8.- En base a especificaciones técnicas y dibujos del fabricante de ejes se pudo determinar que rodamientos son los mas adecuados para estos.
- 9.- Se determinó el tiempo de vida máximo que pueden tener estos rodamientos
- 10.- Se mostró la manera correcta de montar, desmontar, limpiar, ajustar, lubricar y almacenar los rodamientos.
- 11.- Se analizaron las principales fallas y la manera de prevenirlas.

Se puede concluir que dadas las características que poseen las unidades de servicio pesado, los rodamientos mas adecuados siempre serán los rodamientos cónicos ya que cuentan con la ventaja de soportar grandes cargas tanto axiales como radiales

Se pueden seleccionar los rodamientos partiendo de diseños ya establecidos y finalmente es muy importante seguir las recomendaciones de servicio y montaje, para maximizar la vida útil de estos.

BIBLIOGRAFIA

- 1.-Catalogo general de rodamientos de bolas y de rodillos
NTN Corporation
- 2.-Cuidado y manejo de los rodamientos
NTN Corporation
- 3.-Cilindrical and tapered roller bearings
NTN-BOWER
- 4.-Catalogo general de rodamientos
NSK
- 5.-Rodamientos de bolas y de rodillos
FAG
- 6.-Catalogo general de rodamientos
TIMKEN
- 7.-Catalogo de dimensiones de rodamientos
TIMKEN
- 8.-Manual de mantenimiento de rodamientos para el transporte
TIMKEN
- 9.-Catalogo de partes de ejes frontales
DIRONA

- 10.-Manual de mantenimiento
para ejes frontales
DIRONA

- 11.-Manual de lubricación
TIMKEN

- 12.-Diseño de elementos de maquinas
Guillermo Aguirre Esponda
Ed Trillas

- 13.-Diseño de maquinas
Alles S. Hall
Ed. Mc Graw Hill

- 14.-Diseño de Ingeniería Mecánica
Joseph Edward Shigley
Ed Reverte