



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
NÁUTICA Y MÁQUINAS**

GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

ENERGÍA Y PROPULSIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

TFG/GTM/E-01-16

QUE LLEVA POR TÍTULO

**APLICACIÓN DE LOS COJINETES DE
FRICCIÓN A LOS M.C.I**

DEFENDIDO ANTE TRIBUNAL EN LA SESIÓN DE

FEBRERO-2016

AUTOR:

FRANK AMADOR PATIÑO

DIRECTOR: REBECA BOUZÓN OTERO



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

TRABAJO FIN DE GRADO

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

ENERGÍA Y PROPULSIÓN

Dña. Rebeca Bouzón Otero, en calidad de director principal, autorizo al alumno
D. Frank Amador Patiño, con DNI 49917020 M a la presentación del presente
Trabajo de Fin de Grado titulado:

APLICACIÓN DE LOS COJINETES DE FRICCIÓN A LOS M.C.I

Defendido ante tribunal en la convocatoria de

FEBRERO-2016

Fdo Director:

Fdo Alumno:

Rebeca Bouzón Otero

Frank Amador Patiño



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

“TITULO: APLICACIÓN DE LOS COJINETES DE FRICCIÓN A LOS M.C.I”

MEMORIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

CONVOCATORIA

FEBRERO-2016

AUTOR: FRANK AMADOR PATIÑO

FDO: Frank Amador Patiño

INDICE DE CONTENIDO

1	OBJETIVO	3
2	GLOSARIO DE TERMINOS.....	4
3	INTRODUCCIÓN	5
4	ALCANCE	7
5	ANTECEDENTES	8
5.1	Evolución.....	8
5.2	Descripción del Babbitt.....	9
5.2.1	¿Cómo trabaja el metal Babbitt?	10
5.2.2	Propiedades físicas del Babbitt	10
5.2.3	Las aleaciones de metal Babbitt	11
6	COJINETES DE FRICCIÓN.....	14
6.1	Generalidades.....	14
6.2	Tipos y nomenclatura de los cojinetes.	14
6.3	Cargas que soportan los cojinetes de fricción.....	17
6.4	Concepto de Cojinete.....	20
6.5	Características de los Cojinetes en los Motores.	21
6.5.1	Ventajas y Desventajas.	21
6.6	El rascado de los cojinetes.....	22
7	COJINETES DE BIELA Y BANCADA	25
7.1	Principales funciones	25
7.1.1	Lubricidad.	25
7.1.2	La conductividad térmica.	26
7.1.3	Penetrabilidad y adaptabilidad.....	27
7.1.4	Resistencia a la fatiga.....	28
7.1.5	Reemplazabilidad.	29
7.2	Estructura y materiales de los cojinetes de biela y bancada.....	30
8	COJINETES DEL ÁRBOL DE LEVAS.....	32
8.1	Estructuras y materiales de los cojinetes del árbol de levas.	35
9	INSTALACIÓN Y OPERACIÓN	39
9.1	Instalación de los cojinetes.	39
9.2	Puesta en marcha.	41
10	DESGASTE DE LOS COJINETES	46

10.1	Desgaste normal de los cojinetes.	46
10.2	Condiciones anormales de desgaste.	53
10.2.1	Desgaste por adherencia.	57
10.2.2	Desgaste abrasivo.	59
10.2.3	Erosión por cavitación.	63
10.2.4	Corrosión por rozadura.	64
10.2.5	Problemas de fabricación.	66
11	PRINCIPALES CAUSAS DE LOS FALLOS EN LOS COJINETES.	70
11.1	Suciedad.	71
11.1.1	Partícula extraña en el revestimiento del cojinete.	71
11.1.2	Partícula extraña en la parte posterior del cojinete.	73
11.2	Mal ensamblaje.	74
11.2.1	Desplazamiento de la tapa durante el Montaje.	76
11.2.2	Compresión o aplastamiento excesivo.	77
11.2.3	Compresión o aplastamiento insuficiente.	79
11.3	Desalineamiento.	80
11.3.1	Biela doblada o torcida.	80
11.3.2	Distorsión del bloque o la bancada.	81
11.4	Lubricación deficiente.	83
11.4.1	Falta de aceite o película de aceite marginal.	83
11.5	Sobrecarga.	84
11.5.1	Fatiga del revestimiento.	85
11.6	Corrosión.	86
12	LUBRICACIÓN DE LOS COJINETES DE FRICCIÓN.	87
12.1	La Fricción.	87
12.2	La Lubricación.	88
12.2.1	Funciones de los aceites lubricantes.	88
12.2.2	Tipos de lubricación.	88
12.2.3	Influencia de la temperatura.	89
12.3	La lubricación en los motores diésel.	90
12.3.1	Lubricación de los cojinetes de fricción.	92
12.3.2	Formación de la película.	93
13	CONCLUSIONES.	95
14	BIBLIOGRAFÍA.	96

1 OBJETIVO

En un activo foro de maquinista y estudiantes de ingeniería marina, donde se debaten disímiles e interesantes temas sobre motores y maquinaria naval auxiliar, se planteó una pregunta un tanto polémica que decía “¿Puede pasar que durante una maniobra de giro Williamson en un buque, esta pueda cargarse los cojinetes de un motor propulsor?”.

Dicha pregunta se hizo sobre la base de un hecho real ocurrido a un buque en el año 1986 de nombre “Las Coloradas” que durante la ejecución de una maniobra de este tipo los cojinetes del cigüeñal del motor principal se agarrotaron, quedando el propulsor fuera de servicio.

Ante la reacción pasiva de los participantes del foro, un profesor exhortó a los alumnos para tratar dicho tema en un trabajo de fin de grado por considerarlo un tema interesante, de esta manera se me ocurrió que basándome en la experiencia adquirida durante años de carrera profesional, y teniendo en cuenta que, tanto el eje cigüeñal como el árbol de levas son dos de los elementos más importantes en el motor, y además unas de las partes más costosas de reparar o de cambiar, podría desarrollar una investigación más minuciosa y exponer de manera sencilla unas bases para que se pueda establecer un juicio y hacer un diagnóstico acertado sobre el estado de los cojinetes, el aspecto que presentan, las causas que ocasionaron los daños y las pautas para las correcciones necesarias, además de patrones para la correcta instalación.

2 GLOSARIO DE TERMINOS

[1] Lignum Vitae: es una madera comercial, también conocida como madera de la vida o simplemente guayacán. Conocida para aplicaciones que requerían materiales con extraordinaria combinación de resistencia, tenacidad y densidad ($1,23 \text{ g/cm}^3$). Se uso hasta los años 60 como bocina del eje de cola en los buques.

[2] Isaac Babbitt: fue un inventor estadounidense orfebre de oficio, estudió las aleaciones y en 1839 patentó la aleación que lleva su nombre y que tuvo gran aceptación. El metal Babbitt es una aleación que se emplea para disminuir la fricción de los cojinetes.

[3] Acero Blando: Acero que contiene niveles de carbono que se sitúan entre el 0,15% y el 0,25%, casi hierro puro, que además es muy dúctil y resistente a la corrosión. También llamado acero suave.

[4] Colabilidad: es la capacidad de un metal fundido para producir piezas fundidas completas y sin defectos. Para que un metal sea colable debe poseer gran fluidez para poder llenar completamente el molde.

[5] Deposición física de vapor (PVD) describe una variedad de métodos de deposición en vacío que se pueden usar para producir películas delgadas. El PVD utiliza procesos físicos (tales como calentamiento o pulverización catódica) para producir un vapor de material, que se deposita a continuación sobre el objeto que requiere recubrimiento.

[6] Desportillado: Romper el filo o agrietar el borde de un objeto, mellar.

[7] “Sidepinch”: termino en ingles que define una deformación causada por el exceso de compresión en las caras de los cojinetes, que provoca un abultamiento lateral y que acelera el desgaste de los mismos. Cuando hay demasiado aplastamiento, la fuerza de compresión adicional creada por el excedente que permanece después de que el cojinete ya está completamente asentado, hace que éste se abulte hacia adentro, justo donde se encuentran divididas las caras.

[8] “Fretting” termino ingles que es usado para describir fenómenos de desgaste que ocurren entre dos superficies que tienen movimiento relativo oscilatorio de amplitud pequeña.

[9] TBN: (Total Base Number) significa la basicidad del aceite. Indica la capacidad del aceite del motor de neutralizar los residuos ácidos de la combustión, y se expresa en unidades mg KOH/g.

3 INTRODUCCIÓN

A los efectos de brindar un apoyo entre los elementos móviles y los estacionarios de una máquina, se pueden emplear diversos elementos mecánicos que deberán proporcionar puntos de apoyo y que a su vez permitan el movimiento relativo entre los mismos.

El presente trabajo tratará sobre uno de estos elementos que son los llamados cojinetes de fricción, y específicamente abordaremos aquellos que sostienen y guían piezas o conjunto de piezas donde se apoya y gira el eje de una máquina.

En virtud de que la trayectoria que describen los puntos sobre la superficie del eje en la zona que se apoya es cilíndrica, los cojinetes se fabrican en forma cilíndrica, aunque también se suelen construir en forma cónica, especialmente cuando se presentan cargas axiales en la operación del sistema o cuando se quiere que sean ajustables.

Los cojinetes también tiene la función de evitar el desgaste de los puntos de apoyo o bancada de la máquina, efecto que se generaría si los ejes rodaran directamente sobre la estructura de la máquina.

La parte del árbol que hace contacto con el cojinete de fricción recibe el nombre de gorrón o muñón. Los cojinetes de fricción son piezas fácilmente desmontables que se adaptan entre el eje y el soporte de la máquina.

Comúnmente, para permitir el movimiento relativo entre el eje y la estructura de la máquina y funcionar como punto de apoyo se suelen emplear los rodamientos, pero en algunos casos su aplicación es restringida por algunas variables que finalmente convierten al cojinete de fricción en la opción más adecuada.

Es importante tener en cuenta que, a diferencia de los rodamientos, en los cojinetes de fricción no existe un deslizamiento por rodadura, por lo que el movimiento se genera por deslizamiento entre las superficies en contacto.

Esta condición produce que se presente fricción entre las superficies y se genere un desgaste entre las mismas, tanto del eje como del cojinete. Esta variable es muy importante, lo cual lleva a que el cojinete de fricción siempre se construya de un material más blando que el material del eje, dado que es preferible que se desgaste el cojinete y no el eje.

La fricción consume energía inútilmente y el desgaste altera las dimensiones y el ajuste de las piezas hasta la inutilización de la máquina.

Para evitar dicho desgaste tanto en el eje como en el cojinete de fricción y alargar así su vida útil, se suelen emplear materiales que técnicamente se conocen como materiales antifricción o materiales con trazas o recubrimientos

de grafito, lo cual incluye un deslizamiento suave entre las superficies en contacto.

En la práctica también es común el uso de materiales no metálicos como por ejemplo el teflón, que poseen buena adaptabilidad, los desechos generados son blandos y poco abrasivos, y pueden ser lubricados con gran diversidad de fluidos.

4 ALCANCE

Un pequeño desgaste o una deficiente instalación de los cojinetes ocasionarán daños costosos e inactividad del motor. Los cojinetes defectuosos producen daños severos en los muñones del cigüeñal y en los apoyos del árbol de levas y como consecuencia de ello pueden arruinarse otras piezas del conjunto móvil.

El presente proyecto es de gran aplicación práctica para la explotación energética naval y para cualquier industria donde sus componentes incluyan elementos tales como: motores, alternadores, turbocompresores, turbogeneradores, bombas y un interminable número de maquinaria donde se emplean cojinetes de fricción, además, está orientado sobre todo a los estudiantes, ya que brinda la oportunidad de hacerse con los conocimientos necesarios para luego enfrentarse a la gran responsabilidad que supone el desempeño de su profesión en talleres, fábricas y buques.

5 ANTECEDENTES

5.1 Evolución

La idea de utilizar un elemento de rodadura para mover objetos pesados se remonta al antiguo Egipto. Los egipcios utilizaron troncos para rodar sus grandes piezas de piedra más cerca de las áreas donde se construirían las pirámides.

Al principio, los primeros cojinetes se fabricaron de Lignum Vitae ^[1], una madera muy pesada, dura y de naturaleza aceitosa, nativa de América Central y las Antillas. Los aceites naturales en esta madera ayudaban en el proceso de fabricación, actuando como un fluido de corte.

Estos cojinetes se caracterizaban por su larga duración, su dureza y su facilidad para ser reemplazados, siendo lubricados con sebo y otras grasas animales.

A partir del siglo XVIII los cambios en los procesos de fabricación fueron cambiando la manera en que las personas vivían y trabajaban. El hierro se hizo cada vez más popular y estaba reemplazando la madera en muchas fábricas, así que con los nuevos progresos en la fabricación, también había una necesidad de máquinas herramientas más precisas.

La invención trajo consigo formas más fáciles de producir hierro de buena calidad en escalas mucho más grandes que antes, esto permitió el crecimiento de la industria y una mayor necesidad de construir máquinas, lo que dio lugar a nuevos estilos de cojinetes requeridos para la construcción de estas nuevas máquinas. Con el desarrollo de esos nuevos estilos, surgió la necesidad de nuevos materiales para hacer cojinetes.

En 1839 Isaac Babbitt^[2] inventó una aleación antifricción con una baja temperatura de fusión. Esta nueva aleación podía ser formada y moldeada para producir una superficie ideal para ser usada como cojinetes.

Con la introducción de este metal Babbitt, el uso de cojinetes de madera disminuyó ligeramente. En la segunda mitad del siglo XIX, los nuevos procesos de fabricación de acero aleados creados por Henry Bessemer, permitió abaratar los costes en los procesos de producción y esto llevó a que el uso del acero fuera ampliamente empleado en cojinetes y en la fabricación de maquinaria.

Con las grandes invenciones de las últimas décadas en robótica, informática y las nuevas y rápidas máquinas herramientas, los rodamientos se han hecho más significativos para las líneas de producción.

Nuevos materiales de uso en la vida diaria, nos han permitido producir rodamientos a un costo menor para el consumidor, tal es el caso de los politetrafluoroetileno, conocido comúnmente como PTFE o teflón.

Los cojinetes ahora se hacen con una variedad de metales, plásticos y en algunos casos aún se usa la madera.

5.2 Descripción del Babbitt

El Babbitt es un término genérico para designar aleaciones con base de estaño y plomo, que se funden en las superficies de los cojinetes de apoyo y en tapas o respaldos de diferentes materiales como pueden ser: acero, bronce o hierro fundido.

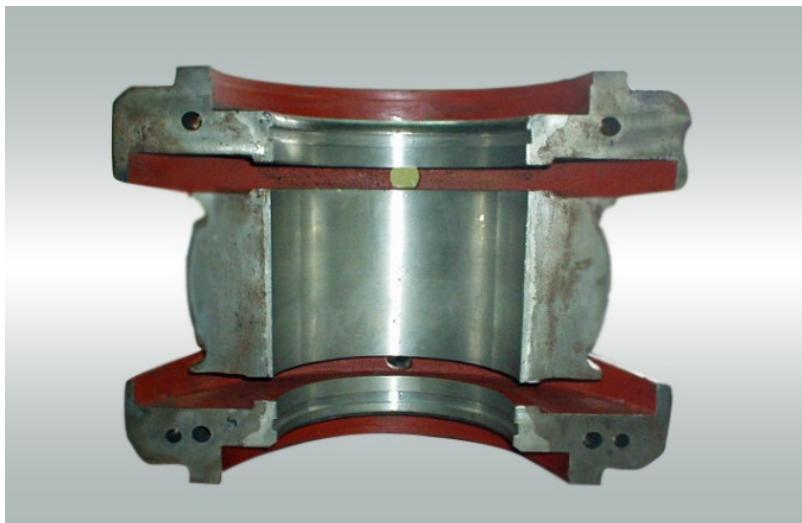


Fig. 5.2.1 Tapa de un cojinete con metal Babbitt fundido en el cuerpo.

La fórmula original para rodamientos de metal de Babbitt fue 89,3% estaño, 7,1% de antimonio y 3,6% de cobre y esta fórmula todavía se comercializa hoy por algunos fabricantes como ASTM B-23 Grado 2 Babbitt o como "Babbitt genuino". Más tarde se desarrollaron otras composiciones.

El metal Babbitt se utiliza fundamentalmente como una delgada capa superficial depositada en una estructura multi-metal compleja, pero su uso original era como un rústico cojinete fundido en el sitio.

El metal blanco (como se le conoce también) se caracteriza por su resistencia a la excoiación, es suave y puede dañarse fácilmente, por lo que pudiera parecer inapropiada como superficie de apoyo, sin embargo su estructura se compone de pequeños cristales duros dispersados en un metal más blando, lo que hace que sea un compuesto de matriz metálica.

Los Babbitt tienen excelente capacidad embebedora (o sea, de encerrar o enclavar dentro de sí las partículas extrañas) y conformabilidad (capacidad para deformación plástica y compensar las irregularidades del cojinete). Estas aleaciones permiten un trabajo satisfactorio para la rotación de ejes de acero blando^[3].

El Babbitt es uno de los metales denominados como antifricción cuyas aleaciones principales son Estaño, Plomo, Antimonio y Cobre. Existen 2 tipos de metales Babbitt; el primero tiene base de Estaño con más de un 50% de éste material y presenta buena adherencia sobre una base de hierro y tienen buena dureza en temperatura ambiente.

El segundo tipo, tiene base Plomo y también posee más del 50% de éste material. Éste tiene poca adherencia sobre la base de hierro y tiene menor dureza a temperatura ambiente, pero conforme se eleva su temperatura el descenso de sus propiedades físicas no es tan acentuado como el que tiene base estaño.

5.2.1 ¿Cómo trabaja el metal Babbitt?

El principio en cuanto a cómo funciona el metal Babbitt es realmente muy simple. Éste debe crear una situación en la que exista un bajo coeficiente de fricción del cojinete, así que, cuanto menor sea la cantidad de fricción en el eje rotativo, más fácil girará.

En el caso de los cojinetes con recubrimientos Babbitt o simplemente llamados cojinetes Babbitt, este bajo coeficiente de fricción se lleva a cabo por dos medios. En primer lugar, el material de soporte en sí (el Babbitt) tiene un coeficiente de fricción relativamente bajo, esto significa que, incluso sin lubricación, los cojinetes Babbitt tendrán mucho menos fricción que si un eje girara entre otros metales, tales como el acero o hierro fundido.

Sin embargo con la adición de una simple lubricación los cojinetes Babbitt pueden tener sorprendentemente bajos coeficientes de fricción (incluso más bajos que el de los rodamientos de bolas).

Para lograr este bajo nivel de fricción, los cojinetes deben ser lubricados correctamente. En condiciones ideales, el movimiento del eje de rotación sobre la superficie del Babbitt y en presencia de cualquier aceite, formará una película delgada de acuerdo con las leyes que rigen la mecánica de fluidos.

5.2.2 Propiedades físicas del Babbitt

El principio básico de las chumaceras o cojinetes recubiertos con el metal Babbitt es la existencia de dos superficies metálicas de diferente dureza sujetas a un movimiento deslizante bajo condiciones de carga y velocidad.

Un ejemplo de tales superficies sería la flecha del rotor de una turbina girando en un soporte, dichas superficies están separadas por una película de lubricante adicionado, la cual hace "flotar" al elemento de carga evitando así el contacto metal con metal, el cual es responsable del desgaste.

Sin embargo en la operación normal de una chumacera o cojinete ocurre el rompimiento de la película lubricante debido a razones varias como el desalineamiento, partículas extrañas, arranques y paradas en las cuales la

velocidad inicial y final no es suficiente para conservar la presión hidrodinámica necesaria.

Los motores de combustión interna utilizan el metal Babbitt principalmente a base de estaño ya que puede soportar una carga cíclica. La base de plomo tiende a endurecerse y a desarrollar grietas al trabajar, pero es adecuado para ser mecanizados con herramientas tales como tornos o fresas.

Cuando cualquiera de las causas mencionadas da como resultado la fricción entre metal y metal, la superficie menos dura tiende a desgastarse protegiendo así la vida del elemento mecánico más importante.

Cuando el cojinete se desgasta, el metal más blando se erosiona tanto que crea rutas para el lubricante entre los puntos duros que proporcionan la superficie de apoyo real.

Cuando el estaño se utiliza como el metal más suave, la fricción hace que éste se funda y funciona como un lubricante, que protege el cojinete contra el desgaste cuando otros lubricantes están ausentes.

Tomando en cuenta los conceptos anteriores, las propiedades físicas más importantes en la selección de un metal antifricción o Babbitt, son las siguientes:

- Capacidad de ceder al esfuerzo: esta debe ser suficientemente alta para prevenir deformación general y suficientemente baja para permitir deformaciones locales en los puntos de desgaste. (debe combinarse con la resistencia a la fatiga más alta posible)
- La aleación debe tener buenas propiedades para el vaciado y la fusión, de tal manera que sea estable en su composición y que se adhiera firmemente en las paredes de acero u otros materiales base.
- El índice de concentración: debe ser adecuadamente bajo al solidificar.
- La resistencia a los cambios en la temperatura de operación: será de tal manera que no se alteren demasiado la dureza y otras propiedades mecánicas.
- Resistencia adecuada a la corrosión por el lubricante.

La aleación debe tener resistencia adecuada al desgaste para el uso particular en el que será destinado, tomando en cuenta que la resistencia al desgaste no es una propiedad absoluta de un material, sino que depende también de otros factores como son: temperatura, lubricante, presencia de abrasivos y geometría de la superficie, además de los factores primarios, carga y velocidad.

5.2.3 Las aleaciones de metal Babbitt

Una aleación de metal blanco debe asegurar una baja fricción y capacidad para soportar la carga sin gripar, distorsionarse, fallar mecánicamente o sufrir corrosión.



Fig. 5.2.3.1 Cojinetes con metales antifricción.

Las propiedades requeridas son las siguientes:

- La aleación de metal antifricción debe tener bajo punto de fusión y buenas propiedades de fusión y colada, para que su composición permanezca sin modificaciones después de variaciones de temperatura, y no se oxide térmicamente. También debe adherirse fácilmente a su soporte de metal, y no debe haber una contracción destacable durante el enfriamiento, ni modificar sus propiedades o dimensiones por envejecimiento.
- El metal debe presentar una estructura de dos fases, consistente en partículas duras en una matriz dúctil. Las partículas duras, evidentemente, dan dureza a la aleación, soportando la carga, mientras que la base dúctil aporta buenas propiedades de conformabilidad. Además, la matriz se desgasta de forma homogénea hasta un nivel ligeramente inferior a la fase más dura, permitiendo la formación de pequeños canales de irrigación para la lubricación.
- Las variaciones de temperatura durante el servicio no deben producir desvíos significativos en la dureza del material o en la resistencia a la fatiga, ni en cualquiera de sus otras propiedades mecánicas.
- La aleación debe presentar buena resistencia al desgaste en las condiciones de trabajo impuestas al cojinete. Cabe destacar que la resistencia al desgaste no es una propiedad determinada por un solo metal o varios metales, sino por el conjunto de la aleación y por otros factores como la temperatura, el tipo de lubricante, la presencia de impurezas abrasivas en éste, y la forma geométrica de la superficie.
- El metal blanco debe tener resistencia a la corrosión que pueda provocar el lubricante, pues ésta haría que la superficie del cojinete adquiriera demasiada rugosidad. Si una sola de las fases de la aleación es atacada por la corrosión, existirá una debilitación de la estructura, que puede conllevar efectos desastrosos. Los agentes corrosivos más habituales

son los productos ácidos que pueden aparecer por la oxidación de los aceites empleados, o incluso el agua marina.

Podemos afirmar que una aleación para cojinetes debe tener un límite elástico suficiente para evitar una deformación general, pero lo bastante bajo para permitir deformaciones locales, combinado con propiedades de resistencia a la fatiga tan elevadas como sea posible.

Las aleaciones Babbitt pueden ser base estaño o base plomo. Las primeras disipan mejor el calor, y las segundas tienen mejor resistencia a la corrosión por ácidos, soluciones amoniacales y otros productos químicos, aunque debido a su composición cada vez son menos utilizadas, además, ambas contienen antimonio y cobre, que dan dureza a la aleación.

El resto de elementos de aleación puede variar según el material utilizado, provocando variaciones en sus propiedades, pero todas las aleaciones antifricción conservan las propiedades comunes de elevada ductilidad, colabilidad^[4] y resistencia a la corrosión. Las composiciones químicas para estas aleaciones se rigen por la norma ASTM B23.

Aleación	Base	Composición química (%)				Límite elástico (MPa) a 20°C	Dureza (HB)	
		Sn	Sb	Pb	Cu		20°C	100°C
Tecnofric 101	Sn	90-92	4-5	0,35	4-5	16,9	17,0	8,0
Tecnofric 102	Sn	88-90	7-8	0,35	3-4	23,1	24,5	12,0
Tecnofric 103	Sn	83-85	7,5-8,5	0,35	7,5-8,5	36,9	27,0	14,5
Tecnofric 107	Pb	9,3-10,7	14-16	72-75,5	0,50	17,2	22,5	10,5
Tecnofric 108	Pb	4,5-5,5	14-16	77-80	0,50	18,3	20,0	9,5

Tabla 5.2.3.1 La presente tabla muestra diferentes aleaciones y su resistencia.

Los cojinetes con un menor contenido de metales aleados son menos resistentes a la compresión, y los que tienen mayor contenido de metales aleados son más susceptibles de sufrir fisuras; es necesario conseguir un compromiso entre los dos casos para tener una aleación antifricción adecuada.

6 COJINETES DE FRICCIÓN

6.1 Generalidades

Los cojinetes constituyen partes importantes en cualquier máquina. Es importante para el ingeniero marino conocer los principios en que descansa su trabajo para mantenerlos funcionando satisfactoriamente, su objetivo principal es el de soportar los ejes rotativos y otras partes en movimiento.

Un cojinete reduce la fricción entre una pieza giratoria y una pieza estacionaria del motor; a la vez que es un soporte de esta pieza giratoria, y por tanto debe resistir cargas muy altas, particularmente las grandes cargas de choque por las explosiones dentro de cada cilindro del motor.

Aun cuando un cojinete por si solo puede reducir la fricción, su rendimiento mejora notablemente intercalando una película de aceite entre la parte móvil y las superficies en rozamiento. Por esta razón existe una luz entre la parte giratoria y el cojinete, la cual se encuentra aproximadamente entre 0,038 a 0,05mm para un motor de gasolina y entre 0,05 y 0,076 mm para un motor diésel.

Esta luz debe estar siempre dentro de los límites especificados. Si la luz es insuficiente, pasará menos aceite por los muñones del cigüeñal, produciéndose recalentamiento que en ocasiones puede llegar a fundir el material suave del cojinete.

Si la luz es muy grande, tampoco lubricará correctamente al cojinete, e inclusive el exceso salpicará sobre las paredes de los cilindros y pasará a quemarse en la cámara de combustión.

Los cojinetes se construyen de aleaciones de material suave y con bajo coeficiente de fricción, tales como: estaño, plomo, bronce, cadmio, plata, etc. En proporciones muy variables, dependiendo del trabajo y de la potencia de los motores. Esta aleación se deposita sobre una base de acero, y luego se le da el acabado con suma precisión.

Los cojinetes deben soportar los impactos que producen la combustión, el efecto corrosivo del agua, el calor que se genera por el rozamiento, y el desgaste causado por las partículas de suciedad que ingresan al motor a través del carburador o del sistema de ventilación del cárter.

6.2 Tipos y nomenclatura de los cojinetes.

El conocimiento de la nomenclatura de los cojinetes y los tipos le permitirá tener una base sólida para cuando trabaje con ellos y además le ayudara a identificarlos puntos donde pueden presentarse las averías.

Anteriormente en los motores, las superficies de los cojinetes se preparaban fundiendo una aleación de Babbitt directamente en la superficie de apoyo por

esta razón se denominan “cojinetes fundidos”. Esa tosca fundición había que trabajarla hasta obtener su configuración definitiva lográndose la medida requerida. Reemplazar este tipo de cojinetes era difícil y lento.

La gran mayoría de los cojinetes modernos son de tipo inserto. Es decir que el cojinete se hace como una pieza independiente y luego se inserta en su base de la biela o bancada.

Este tipo de cojinete tiene muchas ventajas:

- ✓ Se reemplaza relativamente fácil.
- ✓ Existe una mayor variedad de materiales para cojinetes.
- ✓ Espesor del Babbitt controlado.
- ✓ Estructura mejorada.

Hay dos tipos de cojinete de inserto:

- De precisión: se fabrica a tolerancias escritas, por lo tanto no requiere maquinado adicional en el momento de instalarse en el motor.
- Rectificable: el cojinete de inserto rectificable se fabrica con un recubrimiento extra grueso de material de cojinete en el diámetro interior, lo que permite que el cojinete se maquine a cualquier tamaño deseado, incluyendo el Standard, en el momento de su instalación.

Hay dos tipos de cojinetes de inserto según la configuración:

- Enteramente redondo (una sola pieza): El cojinete enteramente redondo se utiliza donde es posible colocar el muñón en su sitio dentro del cojinete, como es de un árbol de levas.
- Seccional (dos mitades): El cojinete seccional se emplea donde el cojinete debe montarse alrededor del muñón con la cubierta del cojinete que también es de dos partes, incluyendo una tapa que sujeta el conjunto. Por ejemplo, todos los cojinetes de cabeza de bielas son de tipo seccional.

Para el cojinete seccional hay otras dos configuraciones:

- De casco recto o de pared delgada.
- De empuje embridado, de ceja o de empuje

El cojinete de empuje embridado proporciona el mismo apoyo que el cojinete de casco recto, pero además controla cualquier movimiento horizontal del eje llamado juego longitudinal o axial.

La mayoría de los cojinetes de empuje de bancada son de brida doble. Sin embargo en los motores de servicio pesado se emplean piezas de empuje independiente denominadas arandelas de empuje, las cuales pueden ser completamente circulares o seccionadas, conocidas comúnmente como “medias lunas”.



Fig. 6.2.1 Cojinete del tipo casquillo o bushing.

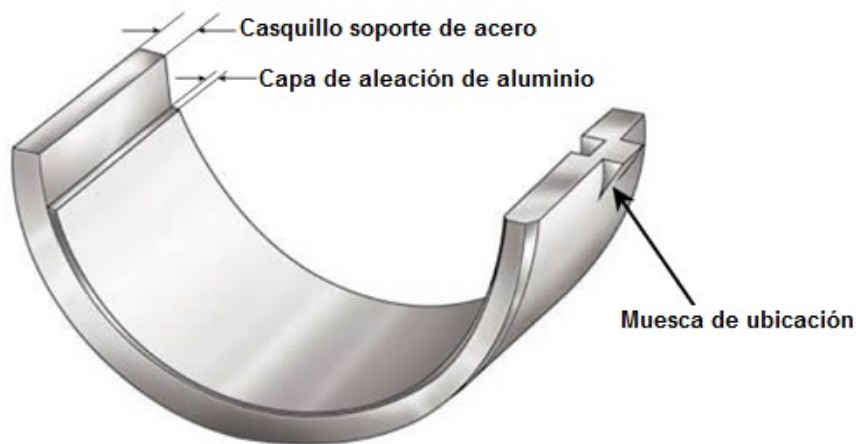


Fig. 6.2.2 Cojinete de casco recto o teja.

El orificio para el aceite en el cojinete puede tener como propósito, lubricar el cojinete o facilitar la lubricación de las partes adyacentes. No se requieren orificios para aceite en todos los cojinetes.

Las ranuras de lubricación se usan para distribuir aceite sobre toda la superficie del eje, lo cual hace que se forme una película de aceite sobre toda el área del cojinete.

Los de repuesto que se vaya a instalar, deben tener las mismas características que el cojinete original, tanto en tamaño como la posición después de instalado y no se deben intercambiar de posición.

La amplitud requiere que el cojinete se coloque en su sitio a presión. La mayoría de los cojinetes de las bielas se fabrican con amplitud. Este término significa que la distancia a través de los bordes divisorios exteriores es ligeramente mayor que el diámetro de la base.

Para colocar este cojinete hay que ejercer una ligera presión. Cada mitad de un cojinete seccional está hecha de modo que es ligeramente mayor que una mitad exacta.

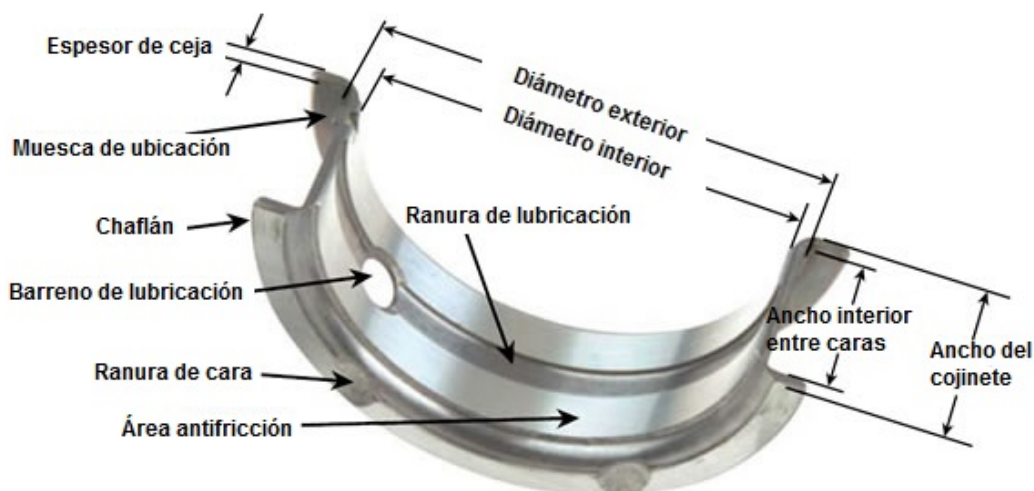


Fig. 6.2.3 Concha o Semi-cojinete de fricción.

Esta distancia, que podría ser como mínimo de 0.025 mm, se denomina aplastamiento. Cuando las dos mitades del cojinete se montan y la tapa de las bielas se ajusta, el aplastamiento establece una presión radial en las mitades del cojinete que las fuerza y ajusta. Esto asegura que el dorso del cojinete está en contacto completo y sin holgura con el área superficial de la tapa de biela o bancada.

6.3 Cargas que soportan los cojinetes de fricción.

Los cojinetes del motor tienen que soportar el castigo de varias cargas a las que están sometidos los motores actuales.

Los arrastres más pequeños de micro partículas, la sobrealimentación y los más altos rangos de potencia hacen que el cigüeñal y los cojinetes de biela se sometan a cargas muy pesadas. Esto ha llevado al desarrollo de algunas nuevas aleaciones y recubrimientos de cojinetes que permiten a estas partes sobrevivir a tantos esfuerzos.

La misma historia sucede con los motores de alto rendimiento. Múltiples válvulas por cilindros, culatas diseñadas y fabricadas por computadoras, válvulas con tiempos variables de admisión/escape, levas controladas electrónicamente y los ya conocidos sopladores, turbocompresores y óxidos

nitrosos que llevan la potencia de estos motores a valores nunca antes vistos y realmente si los cojinetes no pueden resistir tanto stress, entonces el motor rompería.

Los cojinetes de aluminio de producción en serie que se utilizan en muchos motores de último modelo por lo general pueden llegar hasta 500 caballos de potencia antes de que se vean comprometidos, pero una vez que sobrepase estos niveles de potencia la fatiga de los cojinetes podría tener lugar. Llegados a este punto, es necesario actualizar las aleaciones de los cojinetes ya sea a un aluminio más resistente o una aleación trimetálica.

Los cojinetes de biela soportan el peor castigo debido al movimiento de vaivén del conjunto biela-pistón. La carga en los cojinetes de biela cambia con el ángulo del cigüeñal y las revoluciones del motor y por supuesto con cada carrera de trabajo, ya sea compresión, admisión, fuerza o carrera de escape.

Los cojinetes de biela superiores soportan las cargas más pesadas durante la carrera de fuerza, ya que toda la presión que cae sobre el pistón se transmite a la biela y a la manivela, pero los cojinetes de biela también pueden recargarse en los motores sobrealimentados durante la carrera de compresión, y los que quemar óxidos nitrosos en la carrera de escape.

El cojinete de biela inferior también puede experimentar fuerzas G y cargas extremas en un motor de altas revoluciones durante la carrera de escape, es ahí es cuando se producen la mayoría de las fallas en las bielas y los cojinetes de biela.

Los cojinetes en un motor de serie normalmente tienen que soportar cargas de más de 39226,61 kPa, dependiendo de la potencia del motor. En los llamados motores de rendimiento o en un diesel de alta compresión, los picos de carga pueden variar desde 58839,91 hasta 68646,56 kPa y más.

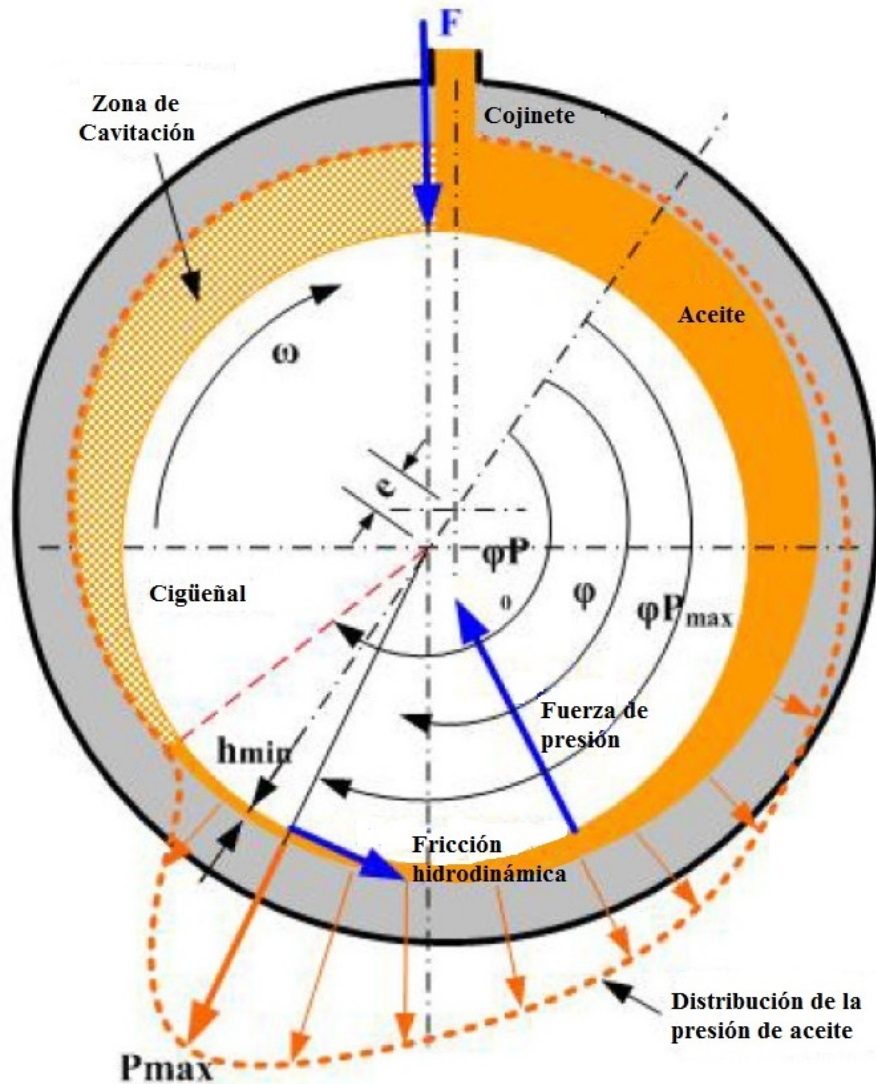


Fig. 6.3.1 Esta ilustración muestra cómo el aceite forma una cuña para levantar y lubricar el cojinete.

La película de aceite también ayuda a distribuir la carga en el rodamiento y para protegerla contra el golpeteo constante.

Los fabricantes de cojinetes ofrecen una gama de materiales con diferentes índices de resistencia y de resistencia a la fatiga para maniobrar con todo tipo de aplicaciones, ya sean los motores de serie o los de rendimiento.

Algunas de las mejores aleaciones bimetálicas (recubrimiento de aluminio en una carcasa de acero) pueden encargarse con seguridad de los picos de carga de alrededor de los 49033,26 kPa, mientras que muchos de los cojinetes trimetálicos son buenos para aguantar más de 68646,56 kPa.

Algunos materiales de cojinetes especiales, como los que han sido desarrollados para motores de muy alto rendimiento y para los grandes

motores turbo-diésel, equipados en los mayores buques del mundo, son idóneos hasta los 137293,13 kPa.

Algunos de los materiales de cojinetes más exóticos son aplicados a las conchas usando un proceso en un ambiente controlado de vacío, llamados “Sputter” o PVD^[5]. Esto permite que el material sea construido con un espesor deseado con un alto grado de precisión.

6.4 Concepto de Cojinete

El cojinete, también denominado cojinete liso o de deslizamiento, es el elemento mecánico capaz de soportar los muñones de los ejes giratorios, que se caracteriza por un reducido coeficiente de rozamiento, así como por la posibilidad de ser lubricado constantemente o estar dotado de poder auto lubricante. En otras palabras, son puntos de apoyo de ejes y árboles para sostener su peso, guiarlos en su rotación y evitar deslizamientos.

Los cojinetes van algunas veces colocados directamente en el bastidor de la pieza o máquina, pero con frecuencia van montados en soportes convenientemente dispuestos para facilitar su montaje.

Muchas veces los cojinetes de fricción están divididos en dos mitades, llamadas semi-cojinetes, aunque dependiendo de la región geográfica es común escuchar otras denominaciones para definirlos como, conchas, tejas, etc.

En otros casos constan de una sola pieza, y entonces se usa más propiamente el término de casquillo, especialmente si se trata de cojinetes de dimensiones relativamente pequeñas.

Los semi-cojinetes se montan generalmente en correspondencia con los soportes de bancada y en las muñequillas del cigüeñal, en los soportes del árbol de levas, en ciertos ejes de las reductoras, etc.

Otra característica importante reside en el hecho de que el material del cojinete debe ser más blando que el eje, para evitar el deterioro de éste en el caso de una lubricación defectuosa.

En la zona de acoplamiento entre el gorrón y el cojinete existe un rozamiento por deslizamiento cuya magnitud puede medirse por medio de un coeficiente, que es función de la velocidad periférica del gorrón, del estado de las superficies, de la temperatura y de la naturaleza de los dos cuerpos en contacto.

Normalmente el cojinete va revestido con un material de antifricción, que sirve para guiar y sostener los órganos giratorios, comúnmente con velocidades y con cargas más bien elevadas. Su función es la de reducir los roces disminuyendo el desgaste y evitar el peligro de gripado.

6.5 Características de los Cojinetes en los Motores.

En la carcasa del motor y en la biela trabajan ejes giratorios como el cigüeñal, el eje de balancines o el árbol de levas. Los cojinetes les prestan a éstos apoyo.

Como consecuencia, los cojinetes están sometidos a una alta carga mecánica, como puede ser el caso de la biela sobre el muñón del cigüeñal, los cuales pueden soportar presiones de encendido de hasta aproximadamente 19613,3 kPa.

Esto último exige que el cojinete resista cargas muy altas especialmente las grandes cargas de choque causadas por las explosiones de combustión interna que se producen.

La capacidad reductora de fricción de un cojinete de motor, se basa en el fenómeno de que los materiales diferentes se deslizan uno contra otro con menor desgaste y menos fricción que los materiales similares.

Por la anterior razón las aleaciones de metales como cobre, estaño o plomo sostienen una pieza de acero móvil mejor que una cubierta accesoria de acero o hasta de hierro fundido.

Aun cuando un cojinete de motor puede realizar parte de ésta función reductora de fricción por sí solo, su rendimiento mejora grandemente con la adición de un lubricante entre la parte móvil y las superficies de rozamiento.

Por tal motivo, uno de los principales objetivos en el diseño del cojinete es establecer y mantener una película de aceite entre esas superficies coincidentes generalmente bajo cargas variables.

6.5.1 Ventajas y Desventajas.

Los cojinetes de fricción incluyen ventajas y desventajas frente a los rodamientos, algunas de ellas son:

Ventajas:

- Los cojinetes de fricción suelen ser más livianos que los rodamientos, dado que no poseen tantos componentes.
- Exigen menor espacio radial, dado que los cojinetes fricción se construyen con paredes delgadas a diferencia de los rodamientos que incluyen dos anillo y elementos rodantes.
- Los cojinetes de fricción incluyen una operación silenciosa.
- Su montaje no incluye el uso de dispositivos especiales.
- Los cojinetes de fricción de dos piezas permiten montajes radiales, lo cual simplifica y facilita su montaje.
- En algunas aplicaciones se excluye el uso de procedimientos de lubricación, empleando cojinetes auto-lubricantes.
- Su costo comparado con los rodamientos es mucho menor.

- Los cojinetes de fricción incluyen una larga vida útil sin fatiga de sus elementos.

Desventajas:

- Los cojinetes de fricción incluyen mayor fricción en los procesos transitorios, especialmente en el arranque.
- Exigen mayor espacio axial.
- Es indispensable el uso de materiales antifricción en su fabricación

6.6 El rascado de los cojinetes.

Es una técnica manual, usada desde hace muchos años, que surgió a raíz de la invención del Babbitt. Antiguamente todos los cojinetes se fundían en el sitio de la aplicación, y en el caso de los motores de combustión interna se fundían en el bloque y luego se rascaban a mano hasta lograr hermanar la bancada con el cigüeñal del motor y lo mismo pasaba con las bielas.

También se usaba para corregir el desalineamiento de los ejes respecto a sus alojamientos, aplicando azul Prusia y luego raspando lo marcado hasta lograr un contacto total de toda la superficie. Hoy en día este método aún se emplea en los cojinetes de algunos motores/alternadores.

Aunque se encuentra cada vez más en desuso, debido a la existencia de modernas máquinas herramientas guiada por computadoras y a la fabricación de cojinetes de precisión, hay que decir que todavía existen los llamados “Artesanos” los cuales tienen algunos simpatizantes que aseguran que el acabado obtenido por medio de esta técnica no puede ser reproducido por medio de ninguna máquina.

El raspado a mano es un proceso totalmente manual de rectificado y proporciona una textura muy particular en la superficie del cojinete. Dicha textura que asemeja a un tablero de ajedrez en miniatura, asegura la retención de una película de aceite para garantizar que la fricción en el momento del arranque sea mínima.



Fig. 6.6.1 Textura lograda con el raspado manual en la superficie de un cojinete plano.

Se realiza con más frecuencia usando una especie de lima plana, pero sin estrías, que es una herramienta de mano con una punta plana afilada, similar a una herramienta de talla de madera.

Para el ajuste de los cojinetes en un motor, haciendo que el contacto del Babbitt con el muñón sea lo más uniformemente posible a lo largo del ángulo de contacto, se usa una herramienta con otras formas.

Una herramienta de rascar cojinetes o “Scraper” (terminología inglesa que es usada comúnmente en el argot mecánico-naval), es una herramienta manual con bordes o puntas afiladas que se utiliza normalmente para ajustar cojinetes.



Fig. 6.6.2. Diferentes tipos de scraper

El rascado es más eficaz cuando se utiliza para remover suavemente las áreas, incluso delgadas, de un cojinete donde han sido identificados los llamados "puntos altos" como por ejemplo, después de una prueba de rotación del eje

cigüeñal, durante el montaje de un árbol de levas o una vez que han sido cambiados algunos o todos los cojinetes en un motor.

Otra de las aplicaciones es proporcionar un acabado distinto al logrado con el rectificado en aquellas piezas que tienen superficies deslizantes y están hermanadas, donde el rascado permite retener una fina película de aceite reduciendo así la fricción entre las partes.

Además sirve para ajustar los cojinetes a sobre-medida y lograr un mejor ajuste con los muñones de apoyo y biela. Muy a menudo un rascado de cojinete se identifica fácilmente por un diseño de tres bordes.

Solo en casos extremos, utilizaríamos un scraper para rascar los cojinetes principales del cigüeñal o de la biela y debería utilizarse con sumo cuidado para limitar la cantidad de material extraído de las superficies de los metales.

7 COJINETES DE BIELA Y BANCADA

7.1 Principales funciones

1. Lubricidad: Suministrar una superficie de resbalamiento durante el arranque y cuando la película del lubricante es fina.
2. Conducción del Calor: Transmiten el calor de la superficie al agujero de biela o del bloque.
3. Penetrabilidad y Adaptabilidad: Suministran una superficie de desgaste blanda para absorber los residuos y para que el cojinete se adapte mejor al perfil del muñón del cigüeñal.
4. Resistencia a la Fatiga: Proveen la resistencia necesaria para la fatiga o las cargas.
5. Reemplazabilidad: Proveen superficies de desgaste reemplazables en alojamientos del bloque y de la biela.

7.1.1 Lubricidad.

La primera función que deben cumplir los cojinetes es la lubricidad. Es la capacidad de autoprotegerse y proteger los muñones del cigüeñal, sobre todo durante el arranque, cuando existe poco aceite entre cigüeñal y cojinetes.

Dado que la superficie del cojinete es blanda y resbaladiza, los muñones duros del cigüeñal se deslizan fácilmente, reduciendo al mínimo la generación de calor. En la siguiente figura, las condiciones de la superficie han sido exageradas para ilustrar mejor.

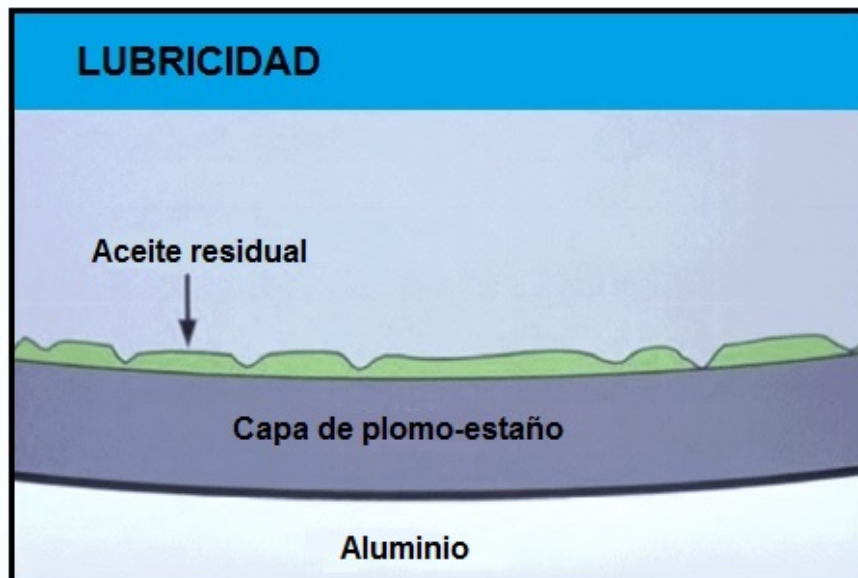


Fig. 7.1.1.1 Película de aceite residual que ha quedado impregnada en la superficie del cojinete, representada en color verde.

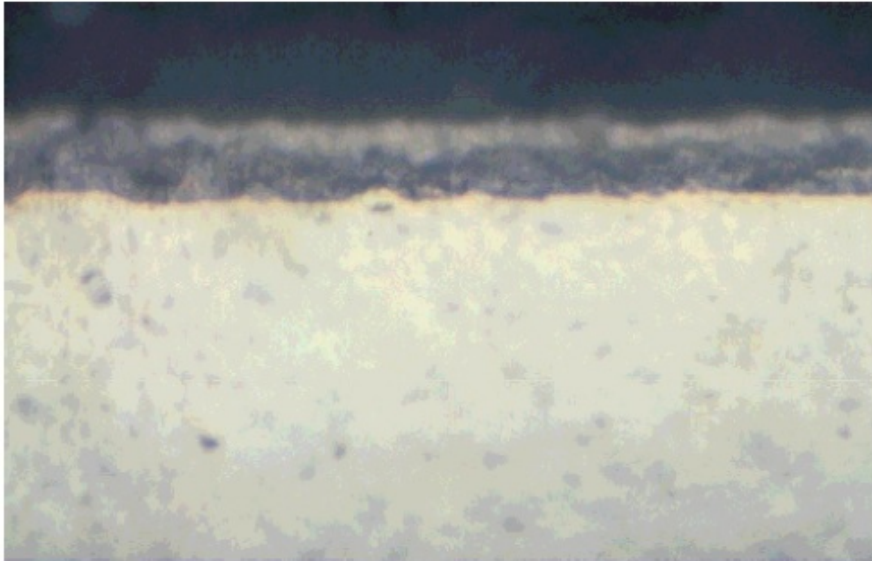


Fig. 7.1.1.2 Vista con una lupa de 400 aumentos de la capa de plomo y estaño de un cojinete nuevo.

En la figura 7.1.1.2 puede verse el metal de color claro en la parte inferior, este metal es aluminio, encima del aluminio hay una capa muy delgada de cobre, la capa siguiente es de plomo y estaño. El color negro es material de fondo alrededor del cojinete.

7.1.2 La conductividad térmica.

Es la facultad para absorber calor y transferir este desde la superficie del cojinete hasta la cubierta. Esta característica es importante pues cuando más frío funcione un cojinete, mejor es su rendimiento.

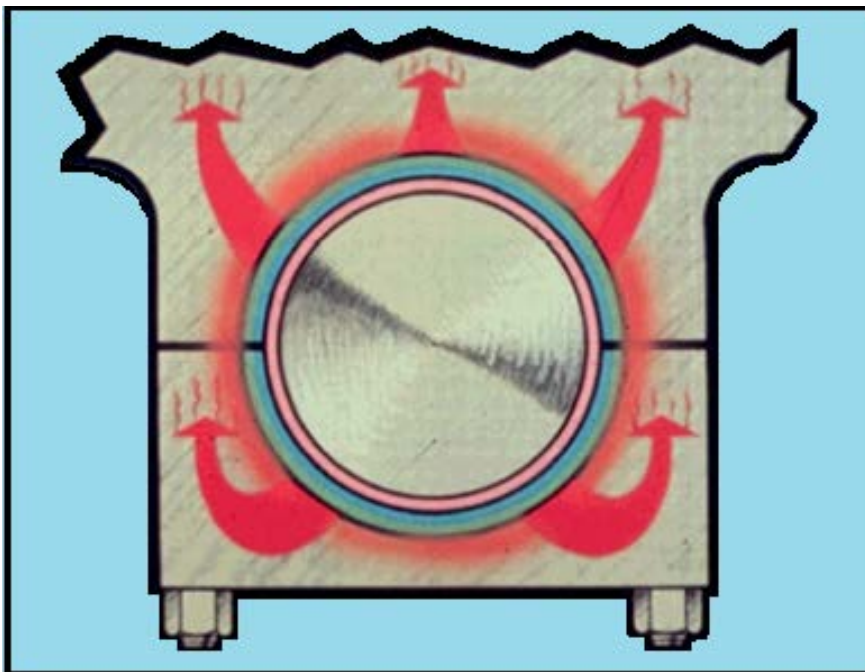


Fig. 7.1.2.1 Representación de la disipación calorífica en un cojinete de apoyo.

El aceite se lleva la mayoría del calor que se genera, pero una buena conductividad térmica del cojinete constituye una ayuda valiosa. Durante el arranque, el calor que se genera por fricción se transmite por conducción a la biela y al bloque, a través del cojinete. Esta pieza está, por lo tanto, diseñada y fabricada para transmitir muy bien el calor.

7.1.3 Penetrabilidad y adaptabilidad.

Es la facultad del material del cojinete para absorber partículas abrasivas extrañas que en otras circunstancias podrían arañar el eje que el cojinete sostiene.

En otras palabras, el material de cojinete es lo suficientemente blando para permitir que esas partículas se incrusten en él. Dichas partículas eluden los filtros del motor y penetran en el huelgo entre el eje y el cojinete, junto con el flujo de aceite.

Cuando el motor arranca o cuando el intervalo de cambio de aceite es demasiado largo, las partículas pueden desviarse de los filtros. Al entrar en los cojinetes, las partículas quedan atrapadas en la capa de plomo y estaño que las excluye del sistema.



Fig. 7.1.3.1 Las zonas sombreadas en negro son partículas de suciedad o polvo incrustadas a la aleación del metal.

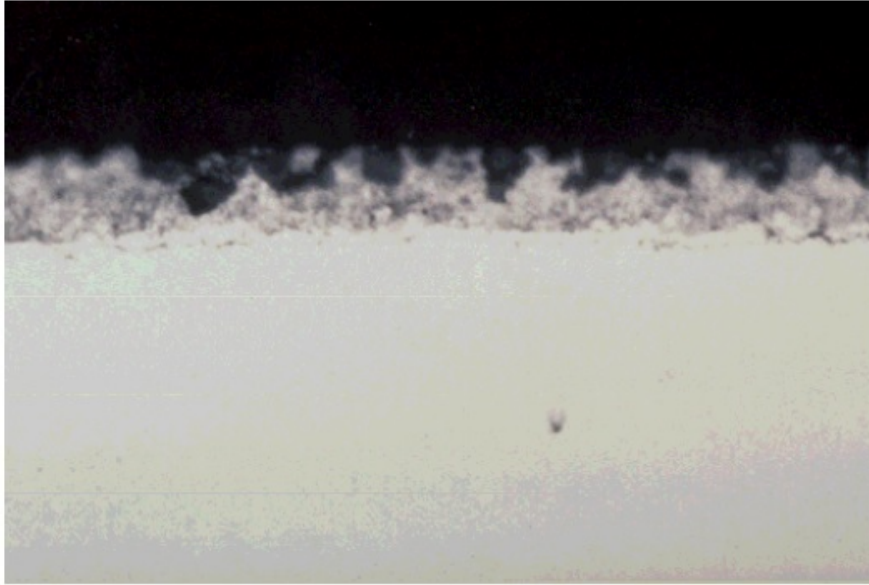


Fig. 7.1.3.2 Ilustración ampliada de un cojinete que ha absorbido suciedades.

En la figura puede verse que, si cortamos por la mitad un cojinete usado y miramos la sección transversal con una lupa de 400 aumentos, vemos que las partículas negras incrustadas en la capa de plomo y estaño se asemejan a piedras hundidas en barro. La capa de plomo y estaño absorbe las partículas, protegiendo el cojinete y el muñón del cigüeñal contra daño por abrasión.

La adaptabilidad, es la característica del material del cojinete que le permite moverse muy lentamente para compensar cualquier desalineación inevitable entre el eje y el cojinete hasta que la superficie del cojinete “encaja” con más exactitud en el perfil del muñón del cigüeñal. Los factores típicos que contribuyen a esa desalineación son: deformación del bloque, alabeo del cigüeñal y bielas dobladas o torcidas.

7.1.4 Resistencia a la fatiga

Es la facultad del material del cojinete para hacer frente a las cargas intermitentes a las cuales está sometido por un tiempo especificado. Los diversos materiales de cojinetes tienen capacidades variables para resistir esas cargas sin deteriorarse. Esta característica a veces se define como carga unitaria máxima en libras por pulgada cuadrada (psi) para una duración especificada en horas de funcionamiento.



Fig. 7.1.4.1 Vista de la carga que puede soportar un cojinete.

En funcionamiento a plena carga, los cojinetes pueden tolerar unas presiones de hasta 137293,13 kPa aproximadamente.

A 1600 rpm, cada cojinete puede sentir esta presión 800 veces por minuto y esta carga cíclica severa puede continuar miles de horas. Cuando las capas del aceite atrapado son delgadas, como en el caso de velocidad en vacío o cuando se aplican cargas pesadas a un motor que funciona a bajas revoluciones, el cojinete soporta cargas aún más elevadas.

Después de miles de horas de funcionamiento, el desgaste normal elimina parte del material blando de la superficie, reduciendo su capacidad de lubricación y de absorción.

7.1.5 Reemplazabilidad.

Los cojinetes son insertos que se pueden reemplazar cuando se desgastan para restablecer toda la capacidad del cojinete. No intercambie nunca los cojinetes por otra marca diferente al proporcionado por el fabricante. Siga al pie de la letra el protocolo de montaje/desmontaje para evitar roturas o desgaste prematuro.

Otras funciones no menos importantes de los cojinetes para cigüeñales y bielas son:

- **Acción superficial:** Es la facultad del material para resistir agarrotamiento si el cojinete y el eje se tocan durante el funcionamiento del motor. Esta situación puede ocurrir cuando una carga máxima comprime la película de aceite al exterior del huelgo entre el eje y el cojinete.
- **Resistencia a la corrosión:** Es la característica que rechaza la corrosión química, como la que causan los ácidos que se forman de la reacción de

los productos de combustión con el agua producida tanto por la ignición del combustible del motor como la condensación del aire.

- Resistencia térmica: Indica hasta qué punto el material del cojinete puede soportar su carga, a temperaturas de funcionamiento de motor, sin que pierda su forma o sufra fracturas por impacto. Este es un requerimiento básico, puesto que el material de un cojinete tiende a perder parte de su dureza y resistencia a la compresión, a medida que aumenta la temperatura de funcionamiento.

7.2 Estructura y materiales de los cojinetes de biela y bancada.

Para cumplir estas cinco funciones, el cojinete debe tener una estructura compuesta.

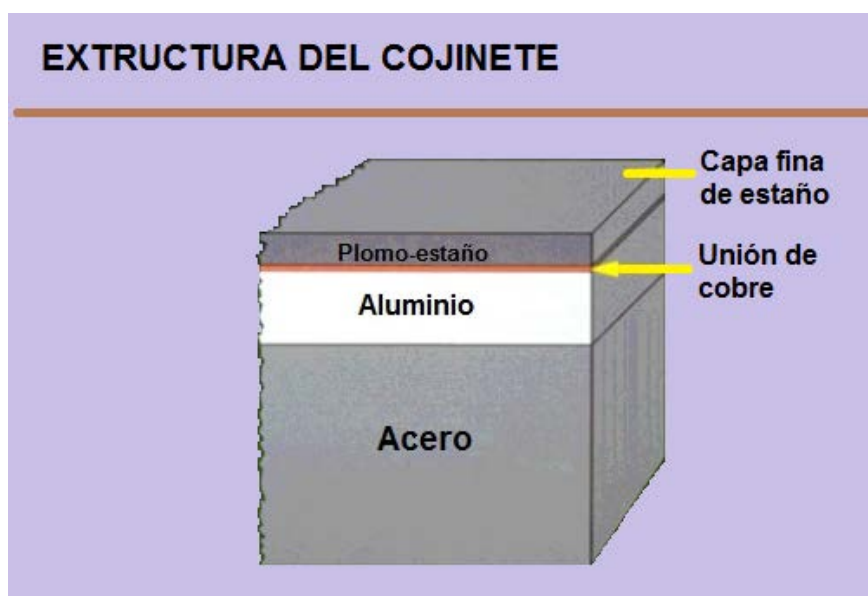


Fig. 7.2.1 Estructura estándar de un cojinete del cigüeñal.

Esta vista de los cojinetes representados en las figuras ayuda a comprender su estructura. Casi todo el cojinete es de acero, con una capa de aluminio, unión de cobre, de plomo y estaño y un baño muy delgado de estaño.

Cada una de estas capas ayuda al cojinete a cumplir una función. El refuerzo de acero es casi 90% del grosor del cojinete, le da la resistencia estructural necesaria para calzar en su alojamiento, es el sostén de la capa de aluminio que soporta las cargas y conduce el calor con rapidez del aluminio al alojamiento.

La capa de aluminio es casi 10% del grosor del cojinete, es suficientemente blanda para proveer buena capacidad de absorción, pero fuerte y durable bajo pesadas cargas cíclicas. También conduce bien el calor y lo transfiere de la superficie del cojinete al refuerzo de acero.

La unión de cobre tiene un grosor aproximado de un diezmilésimo de pulgada, lo que provee buena adherencia entre la capa de aluminio y la de plomo-

estaño, transfiere el calor con rapidez de la segunda capa a la primera y ofrece una superficie de desgaste blanda, cuando la capa de plomo y estaño se desgasta.

La capa de plomo y estaño tiene un grosor aproximado de un milésimo de pulgada (o sea la mitad del grosor de una hoja de papel); es muy blanda y tiene buena capacidad de lubricación, de absorción y adaptabilidad. El baño de estaño es apenas de unos millonésimos de pulgada, protege contra la corrosión y da buena apariencia.

Las arandelas de empuje no tienen la capa de plomo y estaño porque para las cargas de empuje no se necesita capacidad de lubricación ni de absorción. Por esto, los cojinetes de empuje tienen sólo el refuerzo de acero, la capa de aluminio y el baño de estaño.



Fig.7.2.2 Semi-cojinete de empuje.

8 COJINETES DEL ÁRBOL DE LEVAS

Cuando se habla sobre cojinetes de motores, por lo general, nos centramos en los cojinetes principales y de biela y las funciones que desempeñan en el funcionamiento del cigüeñal. Los cojinetes del árbol de levas están menos cargados y generalmente tienen menos problemas.

Sin embargo, los cojinetes del árbol de levas también son cojinetes hidrodinámicos. Ellos sufren las mismas condiciones de funcionamiento al igual que los cojinetes del cigüeñal como son: sobrecarga, falta de aceite, película de aceite muy delgada, desalineación y contaminación del aceite. Los posibles fallos también son similares: la fatiga del material, desgaste excesivo, agarrotamiento y la corrosión.

Hay tres posibles configuraciones del mecanismo del árbol de levas:

Un motor OHV (del inglés "overhead valve", que significa "válvulas sobre la cabeza", apodado "motor varillero") es un motor de cuatro tiempos, ya sea de ciclo Otto o de ciclo diésel, cuyo sistema de distribución dispone de válvulas en la culata y árbol de levas en el bloque del motor.

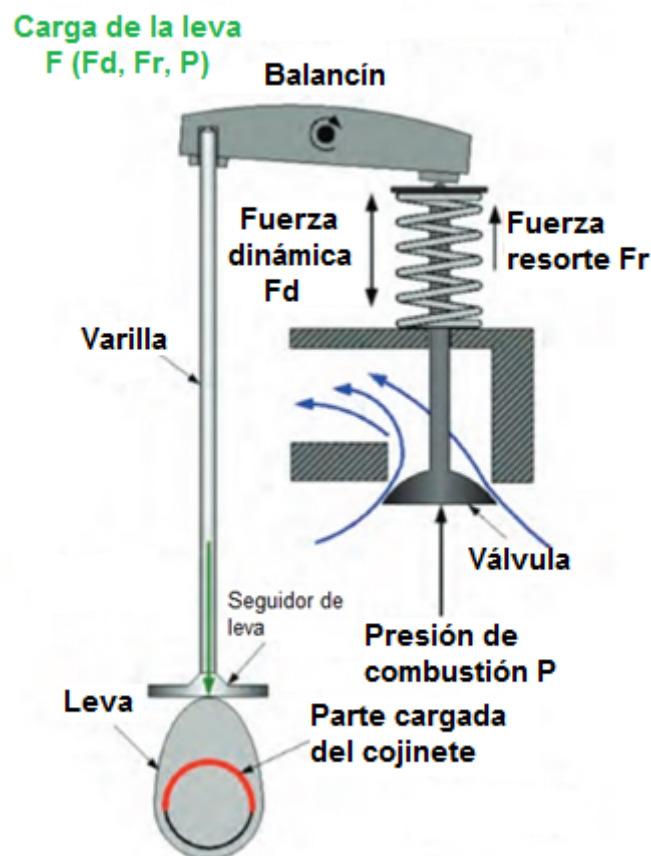


Fig. 8.1 Diseño donde se muestra (en rojo) la zona más cargada de los cojinetes del árbol de levas.

Las levas transmiten la carga a través de la varilla de empuje al brazo basculante del balancín que presión a la válvula y la desplaza desde la posición cerrada

La fuerza necesaria para abrir la válvula se contrapone a la presión del cilindro, a la fuerza del muelle y las fuerzas dinámicas de aceleración/desaceleración (movimiento alternativo) de las válvulas, balancines y la varilla de empuje.

Tal fuerza produce una carga aplicada a la parte superior de los cojinetes del árbol de levas, de manera que con este diseño, la parte superior de los cojinetes puede fallar potencialmente.

Sin embargo, a alta velocidad de rotación las fuerzas dinámicas generadas por la rotación de las levas pueden compensar la carga transmitida por las varillas de empuje.

La fuerza de inercia (F) de la leva puede ser expresada por la fórmula:

$$F = ML * \omega^2 * R$$

Donde:

ML - masa excéntrica de la leva

ω - velocidad angular

R - excentricidad de la leva

De acuerdo con la fórmula, un aumento de la velocidad de rotación por tres, eleva la fuerza por un factor de nueve. Las fuerzas dinámicas producidas por las levas giratorias disminuyen la carga aplicada a las partes superiores de los cojinetes y crean una carga aplicada a la parte inferior.

El efecto de la fuerza de inercia es muy similar a la de los cojinetes principales del cigüeñal con sus masas excéntricas. Los motores de diseño (OHV) del tipo válvulas en la cabeza no suelen funcionar a velocidades muy altas de rotación.

Esta limitación (hasta 10.000 rpm) es causada por las muy altas fuerzas de inercia, producidas por las varillas de empuje relativamente pesadas en su movimiento alternativo.

Unas velocidades de rotación mayores pueden conseguirse en los motores con un diseño de árbol de levas en cabeza (llamado OHC – overhead camshaft por sus siglas en inglés). Éste diseño del árbol de levas OHC, se coloca en la culata del cilindro.

La configuración aquí podría tener dos versiones, con simple árbol de levas (SOHC) y con doble árbol de levas (DOHC).

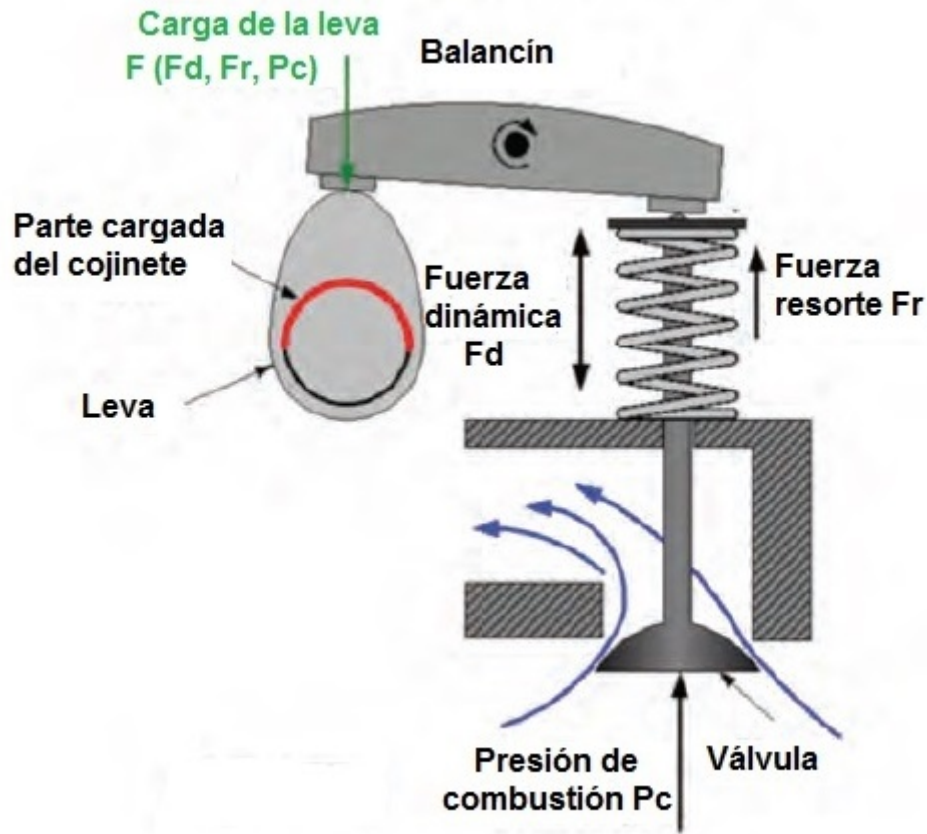


Fig.8.2 Diseño de un (SOHC), simple árbol de levas con balancín en cabeza.

La ubicación del árbol de levas en el diseño OHC con balancines es diferente del anterior, el cual tenía el mecanismo de válvula en cabeza (OHV), pero la carga del cojinete es bastante similar.

El balancín es empujado cuando el lóbulo de la leva está en la posición superior, esto significa que se cargan las partes superiores de los cojinetes. La carga disminuye con un aumento de la velocidad de rotación debido a la fuerza de inercia de la leva excéntrica giratoria.

Diseño del árbol de levas (OHC) en culata con la operación directa de levas es mostrado en la siguiente figura.

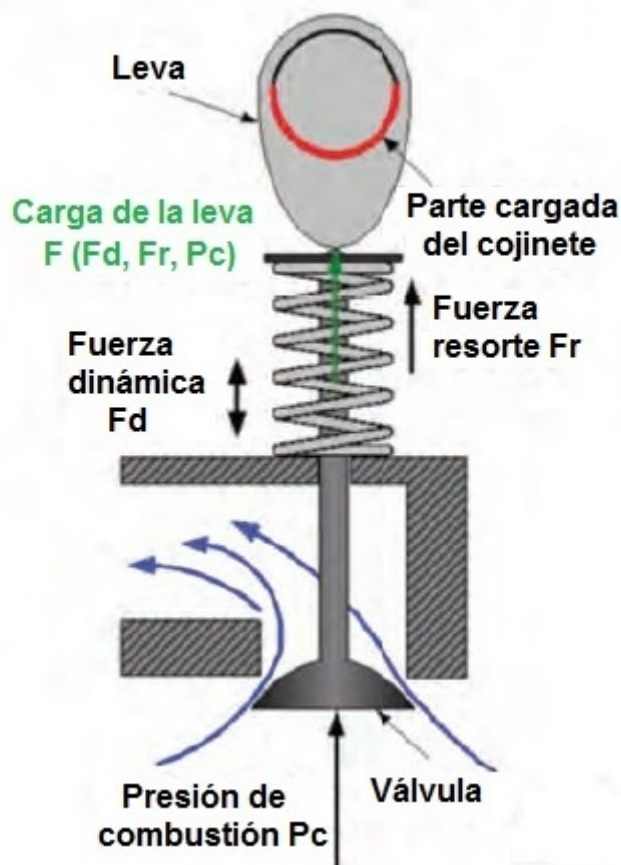


Fig.8.3 Diseño OHC sin balancín.

En este diseño, la leva presiona el empujador de la válvula directamente sin ningún brazo oscilante (balancín) intermedio. Tal configuración se diferencia fundamentalmente respecto a la carga del cojinete.

La válvula es presionada cuando el lóbulo de la leva está en la posición inferior, por lo tanto la parte inferior del cojinete se carga en contraste con los diseños que llevan balancines.

El diseño de árbol de levas en cabeza se utiliza en motores de alta velocidad hasta 20.000 rpm, la fuerza (de inercia) dinámica desarrollada por las levas es grande y puede causar cargas considerables a la parte superior de los cojinetes.

8.1 Estructuras y materiales de los cojinetes del árbol de levas.

Las estructuras típicas y diseños de los cojinetes del árbol de levas se representan en la siguiente figura.

Estructura de los cojinetes de levas

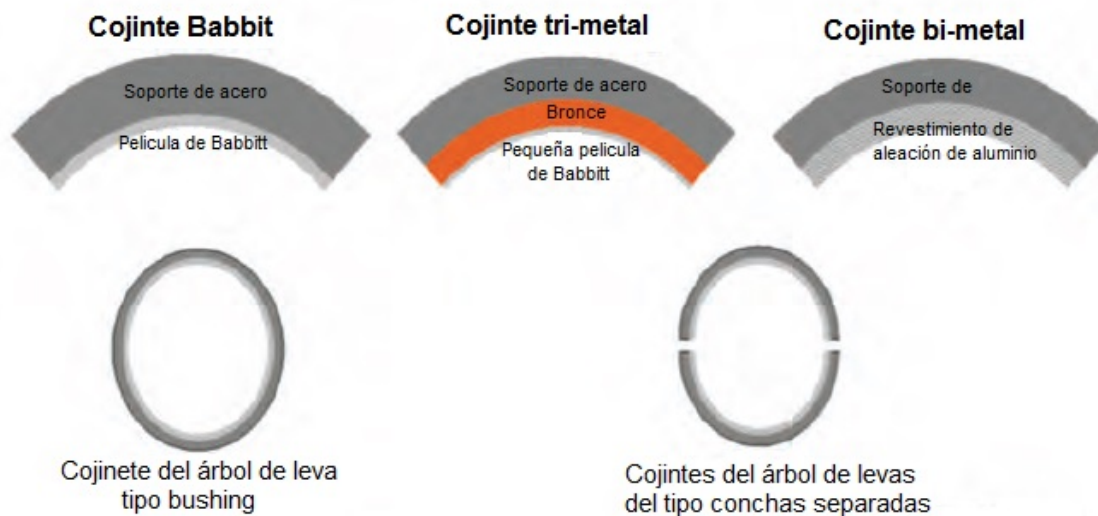


Fig. 8.1.1 Estructura y materiales de los cojinetes del árbol de levas

El diseño más tradicional de los cojinetes del árbol de levas es un tubo de acero con una capa de aleación de Babbitt con base de plomo aplicado sobre la superficie interior (cojinete del árbol de levas de tipo casquillo o bushing).

Los cojinetes de este tipo pueden ser suministrados en condiciones de “semi-acabados”, por lo tanto estos serían maquinados después de su instalación en el motor. Sin embargo hoy en día son más aceptados los del tipo de “terminados con precisión”.

Una capa de Babbitt relativamente espesa y suave proporciona una buena Conformabilidad del cojinete, por lo que el material permitirá ajustar su forma a los desajustes. Los Babbitt también tienen muy buena penetrabilidad, que es importante para los cojinetes que operan con aceite contaminado.

La principal desventaja de los rodamientos Babbitt es su baja capacidad de carga. Las aleaciones Babbitt son suaves y por lo tanto tienen baja resistencia a la fatiga, además el límite de fatiga del revestimiento es directamente dependiente de su espesor y eso nos dice que una capa más gruesa del revestimiento Babbitt tendrá un límite de fatiga inferior, de alrededor de 13729,31 kPa.

Los cojinetes del árbol de levas de tipo Bi-metálico, con un revestimiento de aleación de aluminio, tienen una mayor resistencia a la fatiga de al menos 40011,14 kPa.

Los rodamientos son del tipo conchas separadas, en lugar de un casquillo. En la imagen inferior podemos ver cojinetes de árbol de levas, donde su capacidad de carga alcanza los 54917,25 kPa.



Fig. 8.1.2 Cojinetes fabricados de una aleación de aluminio-silicio (K-788)

Una estructura bimetálica con un revestimiento de aleación de aluminio es la mejor solución para los cojinetes del árbol de levas. La aleación de aluminio no es demasiado dura y por lo tanto tiene buena adaptabilidad, además es más fuerte y más resistente al desgaste que el Babbitt.

En contraste con una estructura trimetal, los cojinetes bimetálicos de aleación de aluminio tienen una conformabilidad superior y pueden tolerar mucho mayor desgaste debido a que no tienen una capa fina de revestimiento.

Si la carga aplicada a los cojinetes del árbol de levas supera la resistencia a la fatiga para las aleaciones de aluminio, se utilizan materiales trimetálicos que tienen una capa base de cobre intermedio y una superposición muy delgada de Babbitt suave.

Los materiales trimetálicos tienen mayor capacidad de carga, pero su conformabilidad y el máximo desgaste están limitados por el muy bajo espesor de la superposición.

Así que una vez que el recubrimiento es localmente dañado y se expone la capa intermedia de bronce, aumentan las probabilidades del gripado del cojinete con el muñón del árbol de levas.

Dado que el desalineamiento y el desgaste excesivo debido a la falta de aceite son las causas más comunes de fallas de rodamientos del árbol de levas, la construcción de tipo trimetal se utiliza muy poco en el diseño de los cojinetes del árbol de levas.

9 INSTALACIÓN Y OPERACIÓN

9.1 Instalación de los cojinetes.

Los cojinetes se deben instalar en alojamientos limpios y secos. Esto permite la máxima conducción de calor del cojinete al alojamiento, evita que se produzcan puntos candentes (causados por depósitos de residuos bajo el cojinete) y mejora también el coeficiente de fricción entre cojinete y alojamiento para impedir deslizamiento.

Este ajuste de fricción entre la parte posterior del cojinete y el alojamiento (y no la lengüeta de colocación) impide que el cojinete se mueva y patine. La lengüeta sirve para alinear el cojinete como se debe, durante la instalación.

Después de instalar las mitades en alojamientos limpios y secos, será necesario lubricar las superficies antes de instalar los cigüeñales, las tapas y los pernos de retención. Siempre conviene verificar visualmente el alineamiento de los orificios de lubricación durante la instalación.

Además, noten que el orificio de lubricación del cojinete de bancada es mucho más pequeño que el conducto perforado en el bloque, porque actúa como control del flujo de aceite que pasa a los cojinetes de las bielas.



Fig. 9.1.1 Montaje de un cojinete de bancada

El diámetro de los cojinetes es ligeramente mayor que el de los alojamientos (altura de compresión) y cuando se instalan las tapas de los cojinetes, las mitades se unen antes que las caras de contacto del alojamiento se junten.

Luego se aprietan los pernos de sujeción, las mitades de los cojinetes se comprimen en el diámetro del alojamiento, comprimiendo el cojinete.

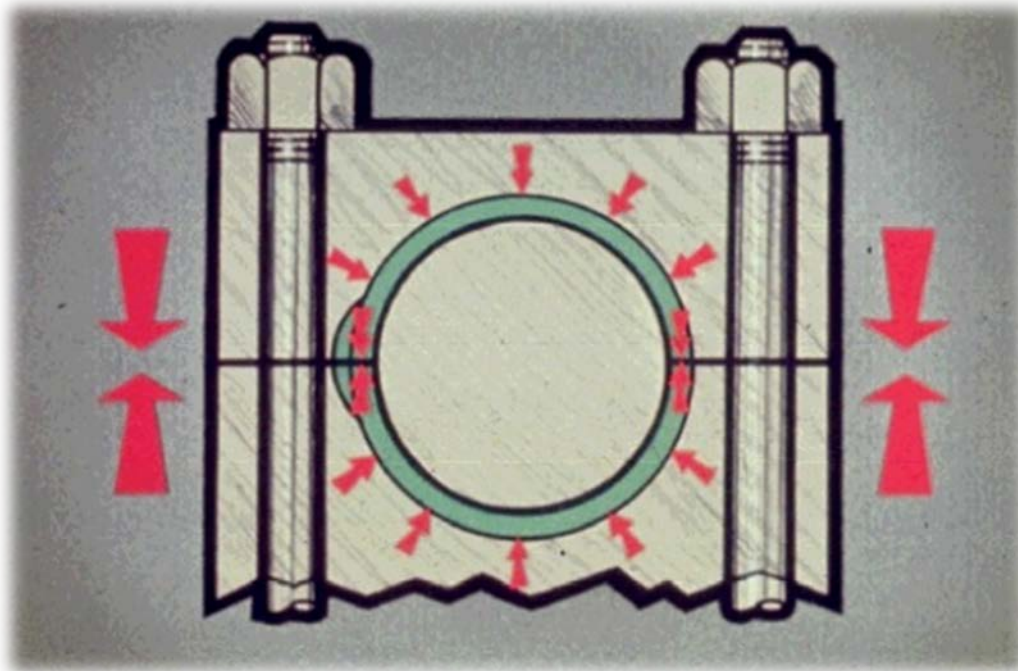


Fig. 9.1.2 Ilustración de un cojinete ajustado a su alojamiento.

Esta compresión es una deformación elástica (un cambio físico temporal, similar a la compresión de un resorte) que presiona al cojinete contra su alojamiento y le impide moverse. Si el cojinete se instala en un alojamiento seco y limpio y si se comprime como corresponde, no debiera moverse al aplicarle carga.

Cuando el conjunto no tiene el torque adecuado o se afloja con el tiempo, se produce el desportillado^[5] por rozadura, entre el cojinete y el alojamiento.

El conjunto se mueve cuando:

- Los pernos que sujetan la tapa del cojinete tienen menos par del que corresponde (los pernos no ejercen toda la fuerza de sujeción).
- Los pernos de sujeción están sobreajustados (con el tiempo se debilitarán y se estirarán causando el mismo efecto que el anterior ejemplo).
- Quedaron residuos entre las caras de contacto del alojamiento, al instalar el cojinete.
- Las caras de contacto son muy ásperas (menos agarre).
- Excesivas horas de servicio produjeron la adaptación del cojinete al alojamiento y la pérdida del ajuste.
- Otras razones.

9.2 Puesta en marcha.

Después de montar todas las piezas, los motores están listos para ponerlos en servicio.

Una vez que el motor comienza a funcionar, la vida útil de los cojinetes depende de que la lubricación, las cargas y la temperatura sean adecuadas. Veamos a continuación estas áreas críticas de funcionamiento.

Cuando un motor arranca, entre la superficie de los cojinetes y la del cigüeñal hay sólo una pequeña cantidad de aceite residual. Hasta que llega el aceite nuevo, las asperezas de las superficies hacen contacto y generan calor. Por eso, para evitar el sobrecalentamiento, es importante mantener al mínimo la carga y las rpm.

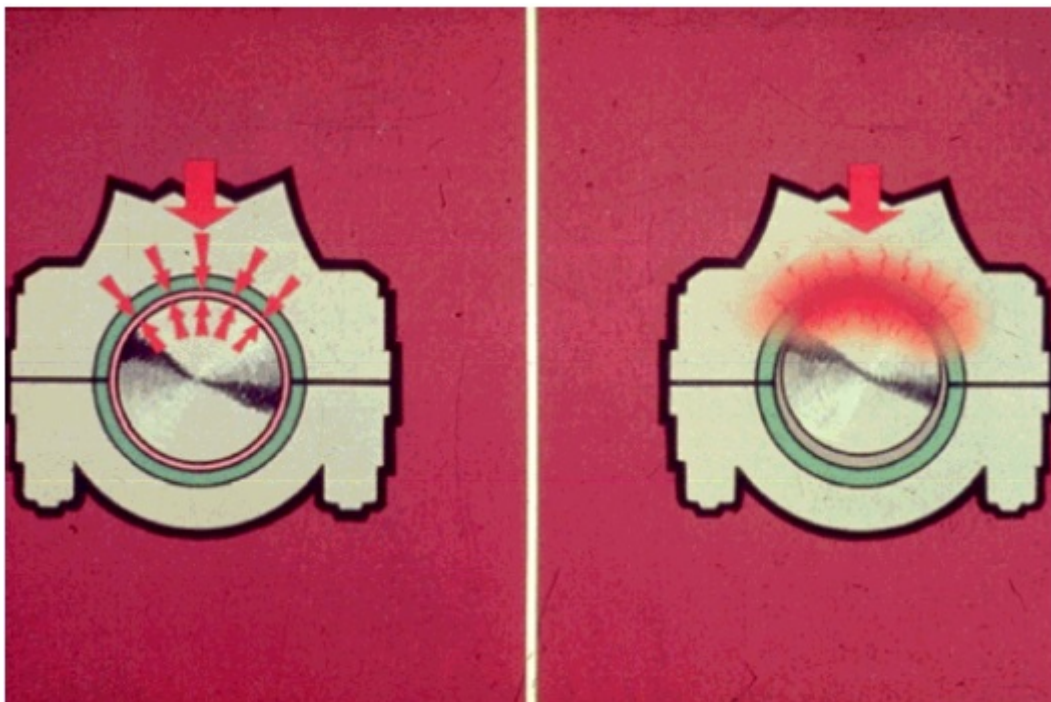


Fig. 9.2.1 Ilustra el riesgo de contacto entre muñón y el cojinete durante el arranque.

Durante todo este tiempo la bomba de aceite funciona, mandando aceite rápidamente por los conductos hacia el enfriador y los filtros. Las bombas suministran más aceite del que necesita el motor y desvían continuamente una parte para devolverlo al cárter.

A medida que el motor se desgasta y aumenta el juego entre piezas, la cantidad de aceite que requiere el motor aumenta y la que va al cárter disminuye.

Esto explica por qué muchos motores diésel modernos con este sistema de válvulas de derivación tienen constantemente elevado nivel de presión de aceite en toda su vida útil.

El aceite frío y espeso y las restricciones del sistema hacen subir la presión. La bomba, el enfriador y los filtros de aceite tienen válvulas de derivación para que el aceite pase alrededor de estos componentes cuando las restricciones son muy grandes.

Así, cuando arrancamos el motor con el aceite frío y a elevadas revoluciones, esto hace que las válvulas de derivación se abran y pase aceite sin filtrar a los cojinetes.

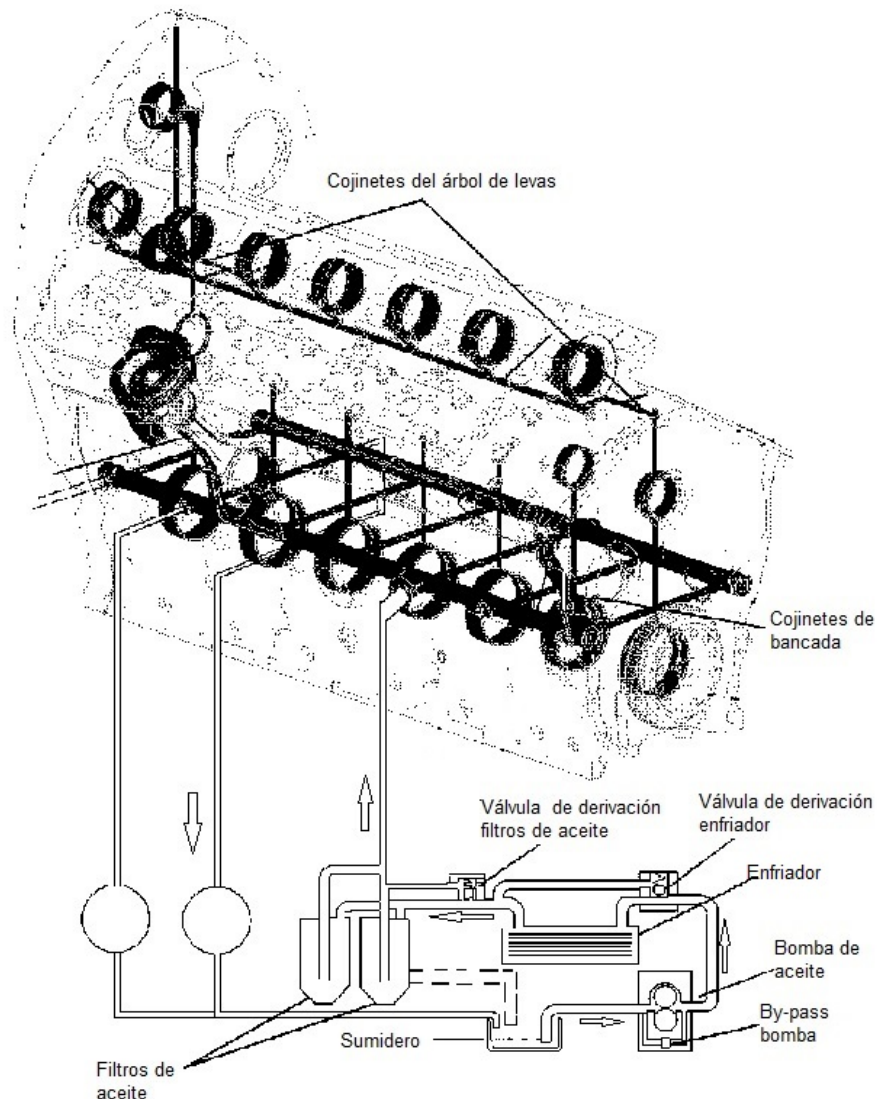


Fig. 9.2.2 Diagrama de lubricación de un motor

Los filtros de aceite controlan el tamaño y la cantidad de partículas erosivas y abrasivas presentes en el aceite. Para esto, los filtros se fabrican de manera que funcionen con la válvula de derivación del filtro.

Diríamos que las presiones que abren la válvula de derivación del filtro de aceite en muchos de los motores actuales son altas y el papel no sólo debe retener basura nociva a flujos elevados, sino también soportar elevadas

diferencias de presión sin romperse como cuando está parcialmente taponado de basura.

Como el filtro de aceite está en un lugar de fácil acceso y se cambia con frecuencia, es recomendable siempre adquirirlos de la casa matriz y mantener los ciclos de cambios recomendados por el fabricante del motor para garantizar la buena funcionalidad de los mismos. Muchos competidores producen y venden filtros de aceite que se pueden instalar, pero que no son necesariamente productos de calidad.

En cualquier momento en que se produzca desgaste por abrasión de los cojinetes (denominado por lo general “daño causado por basura”) debemos cortar y abrir cuidadosamente los filtros de aceite para ver si tienen defectos.

Cuando el aceite llega a los cojinetes, separa las superficies de desgaste y reduce la temperatura que se ha producido con el arranque. Durante el funcionamiento normal, las cargas pasan a los cojinetes por la capa de aceite atrapado y la generación de calor se reduce grandemente.

Las superficies de los cojinetes entran en contacto directo con el cigüeñal sólo al arrancar o en condiciones de muy poca lubricación.

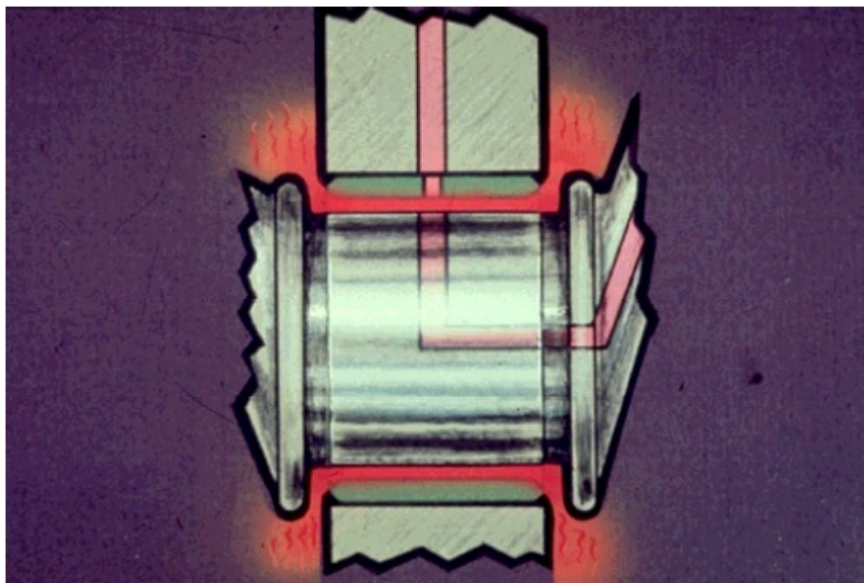


Fig. 9.2.3 Lubricación de un cojinete de bancada por la tapa superior

Noten que el orificio de la concha superior es menor que las galerías de aceite que lubrican el cojinete de bancada, limitando así el flujo a los cojinetes de bielas.

Hay quien piense que la presión de aceite de un sistema crea el espesor de la película de aceite en los cojinetes, pero la presión del aceite del sistema apenas abastece el aceite que va a los cojinetes.

Es la rotación del cigüeñal lo que determina el espesor de la película de aceite (si la rotación aumenta, atrae más aceite y la película se hace más espesa).

Del mismo modo, el espesor se puede reducir, bajando la velocidad de rotación del cigüeñal, también se puede reducir diluyéndolo, por medio de temperaturas muy elevadas o bajando la presión de suministro de aceite.

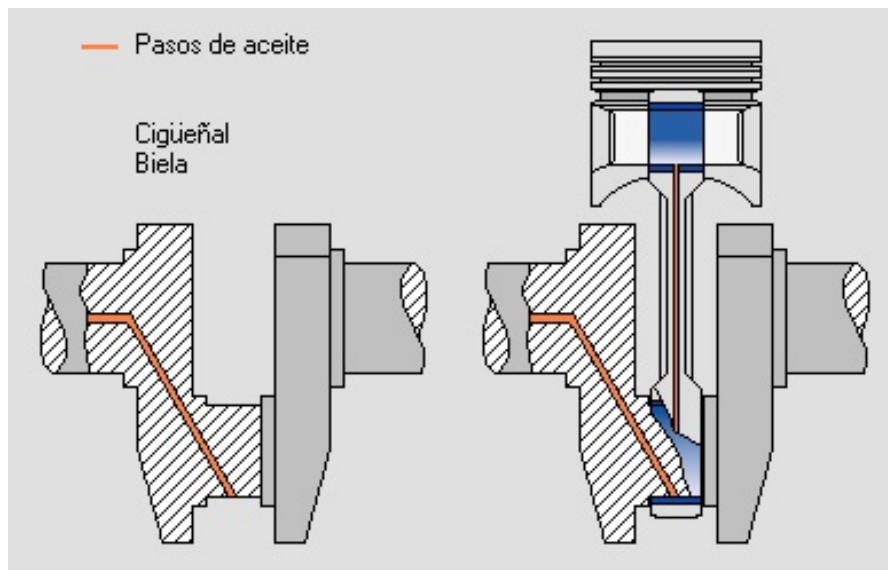


Fig. 9.2.4 Representación de los conductos de lubricación del cigüeñal.

La falla de un cojinete de biela o de bancada por lo general no causa falta de lubricación de los otros cojinetes a menos que el motor funcione a bajas revoluciones.

Cuando un cojinete comienza a fallar (pero no ha patinado todavía) la pérdida de aceite estará limitada por el orificio del cojinete de bancada y la válvula de derivación de la bomba comenzará a cerrarse y a enviar más aceite al motor, manteniendo de este modo la presión de aceite del sistema.

Pero cuando las revoluciones del motor son bajas, la bomba de aceite no bombea mucho aceite, su válvula de alivio se cierra y un cojinete de biela o de bancada que ha fallado puede perder tanto aceite que cause una disminución en el suministro y un daño en otro cojinete.

Por eso, antes de opinar es necesario obtener todos los datos sobre operación del motor.

Actualmente la carga en los cojinetes es mucho más severa que la de los primeros motores diésel, por eso los cojinetes y cigüeñales requieren mejor diseño y calidad superior.

Anteriormente muchos motores diésel funcionaban a menos de 1500 rpm, las presiones máximas de los cilindros eran inferiores a 10296,98 kPa y las áreas de contacto de los cojinetes eran amplias.

Los motores de hoy funcionan a más de 3000 rpm, tienen presiones máximas de los cilindros de más de 13729,31 kPa y tienen menores áreas de contacto de cojinetes.

Estas exigentes condiciones requieren que la calidad del cigüeñal y de los cojinetes sea mejor que nunca y que la aplicación, operación y mantenimiento se hagan con mucho más cuidado.

La temperatura del aceite y de las superficies de los cojinetes debe mantenerse siempre bajo estricto control, los motores diésel marinos siempre van equipados con seguridades que actúan cuando la temperatura sobrepasa los límites fijados.

Como regla general podemos decir que si la temperatura sube sobre 175 °C, los cojinetes se pueden dañar. Los operadores se deben asegurar de que el arranque sea a bajas rpm y en buenas condiciones de lubricación.

10 DESGASTE DE LOS COJINETES

10.1 Desgaste normal de los cojinetes.

Cuando la aplicación, operación y mantenimiento son correctos, los cojinetes de bancada y de biela desarrollan patrones de desgaste que llamamos “normales”. El desgaste “normal” avanza por el baño de estaño a la capa de plomo estaño; va a la unión de cobre y a la capa de aluminio. El dorso del cojinete normalmente se oscurece con el tiempo en patrones irregulares.

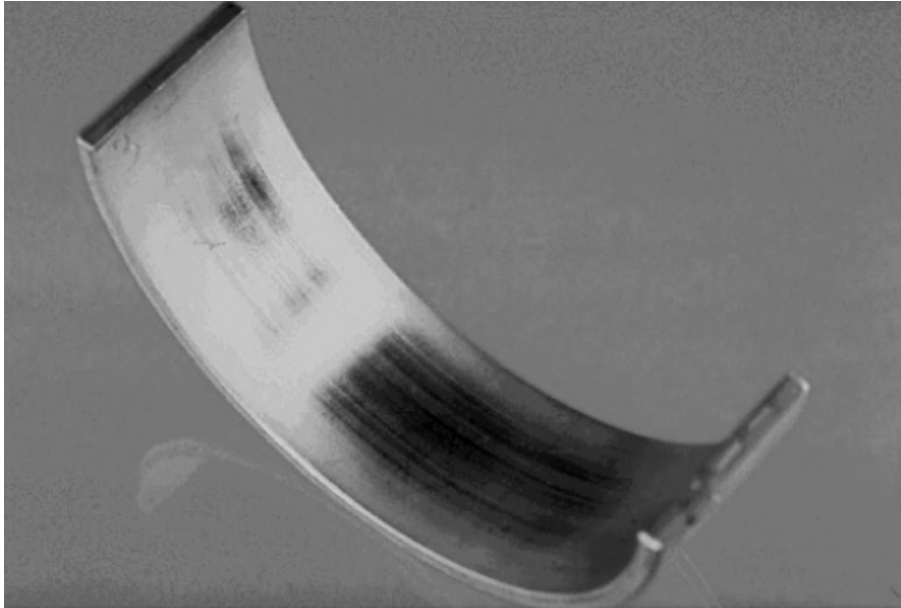


Fig. 10.1.1 Cojinete con desgaste normal del baño de estaño, después de 10.000 de servicio.

El baño de estaño es muy fino (milésimas de milímetro), por eso se desgasta en los puntos elevados del perfil. Después de desgastarse el baño de estaño, queda expuesta la capa de plomo y estaño, más oscura.



Fig. 10.1.2 Vista aumentada donde vemos un desgaste radial normal.

Con una lupa podemos ver mejor los detalles del desgaste. En la siguiente figura vemos que el estaño se ha desgastado en las nervaduras que dejó el acabado de la capa de aluminio.

Cuando utilizamos una lupa, las pequeñas irregularidades normales de la superficie parecen demasiado grandes y pueden preocuparnos sin necesidad. Es necesario saber usar la lupa para familiarizarnos con la apariencia de las condiciones normales y las anormales. Las pequeñas burbujas como las que se ven aquí, son a veces normales en la capa de plomo y estaño.



Fig. 10.1.3 Aumento del borde exterior de un semi-cojinete

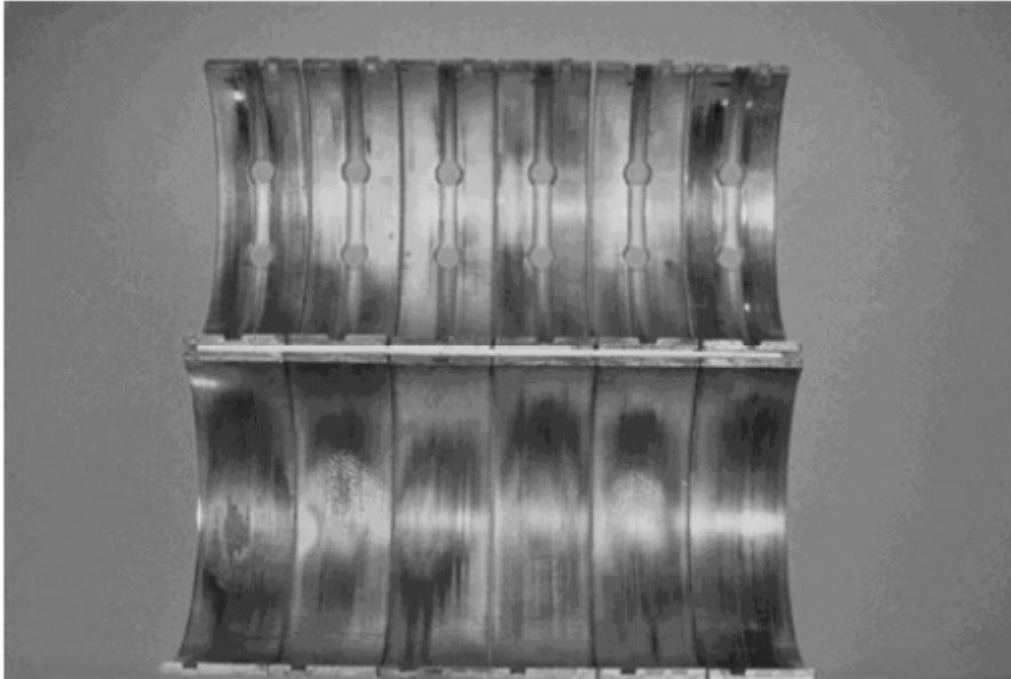


Fig. 10.1.4 Juego completo de cojinetes de bancada con aproximadamente 15.000 horas de funcionamiento.

Cuando el motor ha funcionado muchas horas, es posible que la capa de plomo y estaño se desgaste en zonas donde la carga es elevada o que se desprenda, como vemos en estos cojinetes de bancada que tienen unas 15.000 horas de trabajo.

Algunos cojinetes pierden pedazos pequeños de la capa de plomo y estaño y de la unión de cobre, dejando expuesta la capa de aluminio como se ilustra en la figura debajo. Sin embargo, queda suficiente plomo y estaño para mantener la capacidad de lubricación y de absorción de basura.

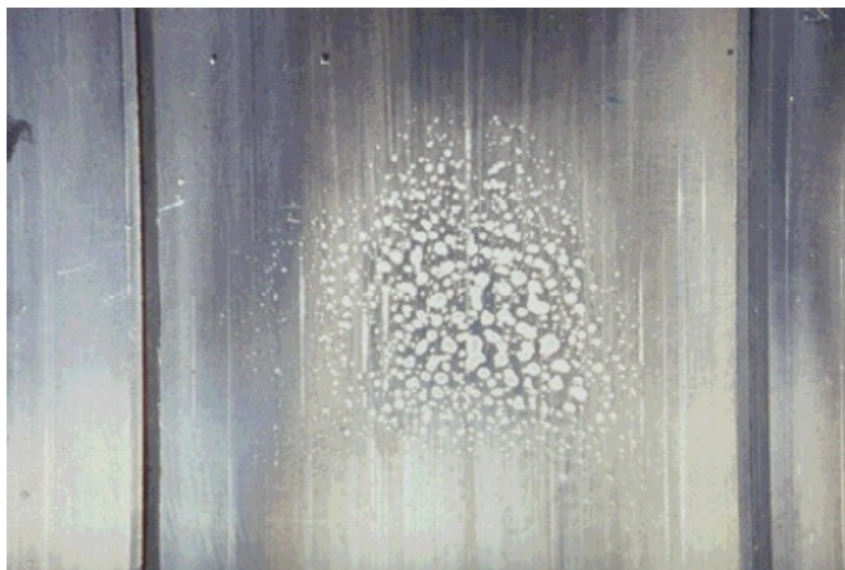


Fig. 10.1.5 Pérdida parcial del revestimiento Babbitt de un cojinete.

Este cojinete perdió la capa de plomo y estaño y vemos que la pérdida es cada vez mayor



Fig. 10.1.6 Fatiga normal del Babbitt después de muchas horas y regímenes de sobrecarga.

Este es un tipo de fatiga de la capa de plomo y estaño causada por movimiento del plomo y estaño bajo pesadas cargas y muchas horas de trabajo.

Después de miles de horas de uso la capa de plomo y estaño se puede desgastar completamente, exponiendo la unión de cobre y la capa de aluminio. La unión de cobre tendrá por lo general un color oscuro debido a oxidación, mientras que la capa de aluminio mantendrá su color claro.

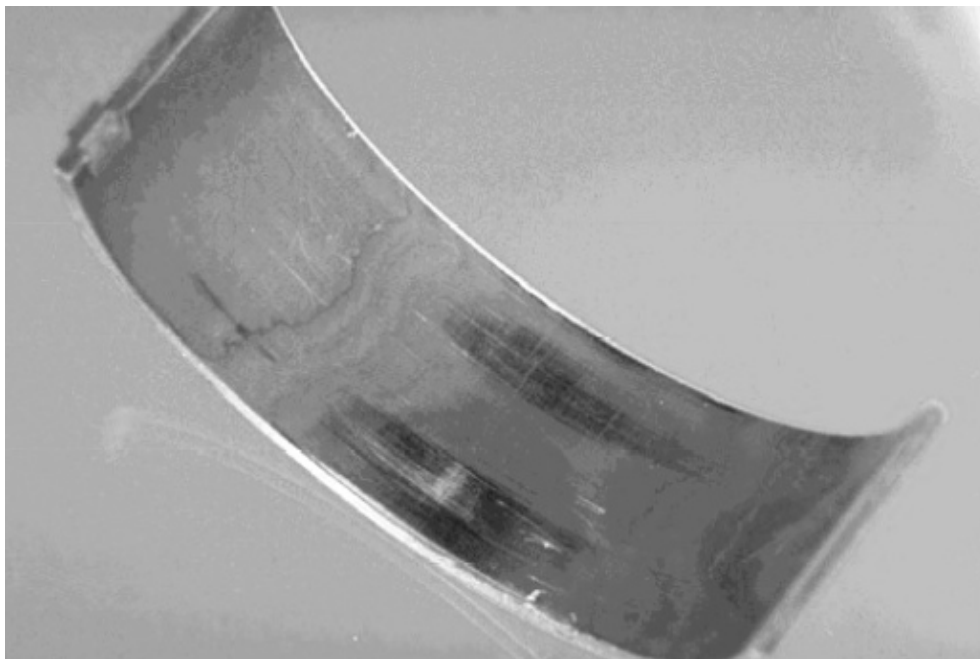


Fig. 10.1.7 Apreciable desgaste en la zona central inferior del cojinete.

Los resultados de los análisis periódicos de aceite, no indicarán niveles altos de cobre a medida que la unión se desgasta porque ésta es muy fina.

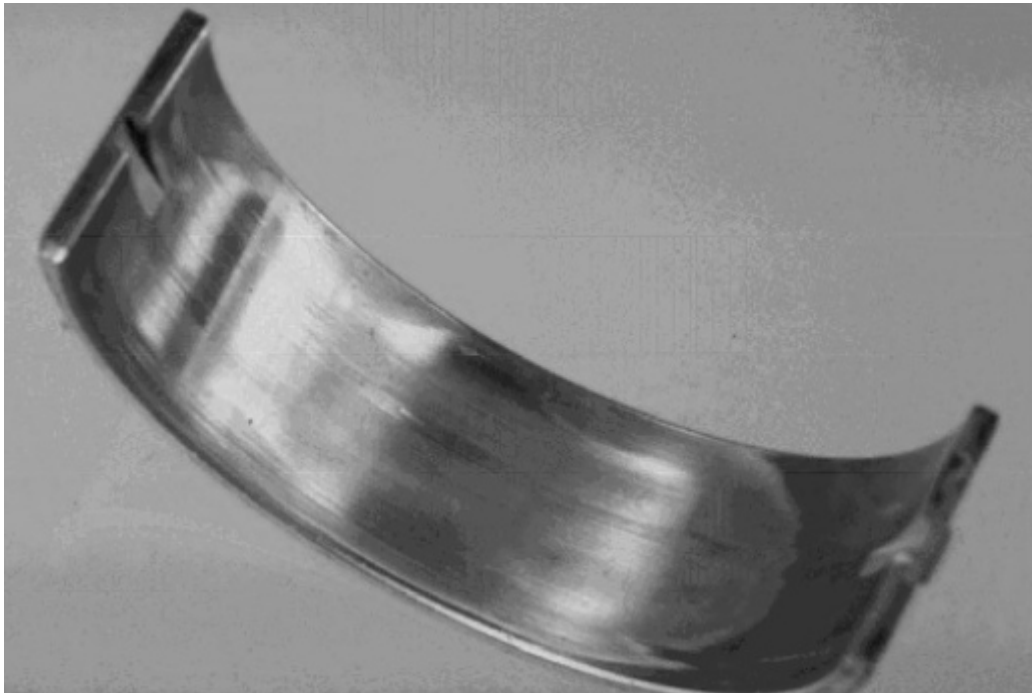


Fig. 10.1.8 Desgaste abrasivo rápido, muestra coloración rojiza por la presencia del cobre.

Sólo cuando se produce un desgaste abrasivo anormal, fino y rápido, tendrá la capa de cobre el color original del metal, como se muestra en la siguiente figura.

Cuando el baño de estaño, la capa de plomo y estaño y la unión de cobre se han desgastado en las zonas de cargas elevadas con muchas horas de funcionamiento, la capacidad de lubricación y de absorción de basura se reduce, entonces hay que instalar cojinetes nuevos.

De vez en cuando vemos patrones irregulares de desgaste y nos preguntamos si hay algún problema de alineación o de perfil del muñón del cigüeñal.

Es necesario recordar que el baño de estaño y la capa de plomo y estaño son finos y que las variaciones normales de las dimensiones pueden desgastarlos en grandes áreas.

Esto puede dar la impresión de que la alineación es peor de lo que es. Este juego de cojinetes de biela tiene un desgaste diferente en cada uno, se trata de un juego que ha rendido muchas horas y que no tiene ningún desgaste por adherencia en el aluminio. La conclusión es que las partes no están desalineadas. Lo único que se requiere es cambiar los cojinetes.



Fig. 10.1.9 Cojinetes de biela con muchas horas de uso, necesario sustituir.

Algunas veces se ven varios colores diferentes a medida que el desgaste de los cojinetes avanza por las capas. No es necesario preocuparse de que haya demasiadas capas, porque durante la fabricación los procedimientos químicos de limpieza o las variaciones durante el enchapado pueden producir cambios menores en las capas de los cojinetes.

Veamos la siguiente figura y preguntémonos, ¿es posible usar los cojinetes después de desgastarse la capa de plomo y estaño, como lo muestra esta imagen ampliada en estos cojinetes de biela?

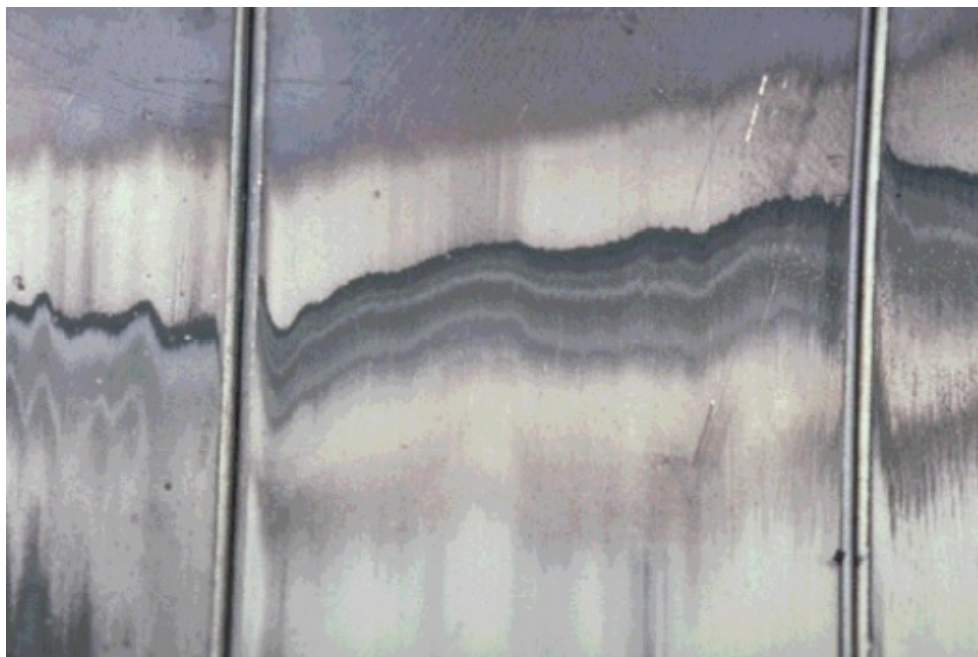


Fig. 10.1.10 Cojinete muy pulido que ha perdido el Babbitt.

Se aprecia, sin embargo, que se ha producido un corte pulido y por abrasión en las áreas de mucha carga, porque la capacidad de lubricación y absorción de basura han disminuido.

Hay pocos residuos incrustados y el metal de la superficie no se derritió, indicio de que no hubo nunca problema de calidad o cantidad de lubricación. El patrón de desgaste indica poca conicidad, lo que demuestra buena alineación de las piezas.

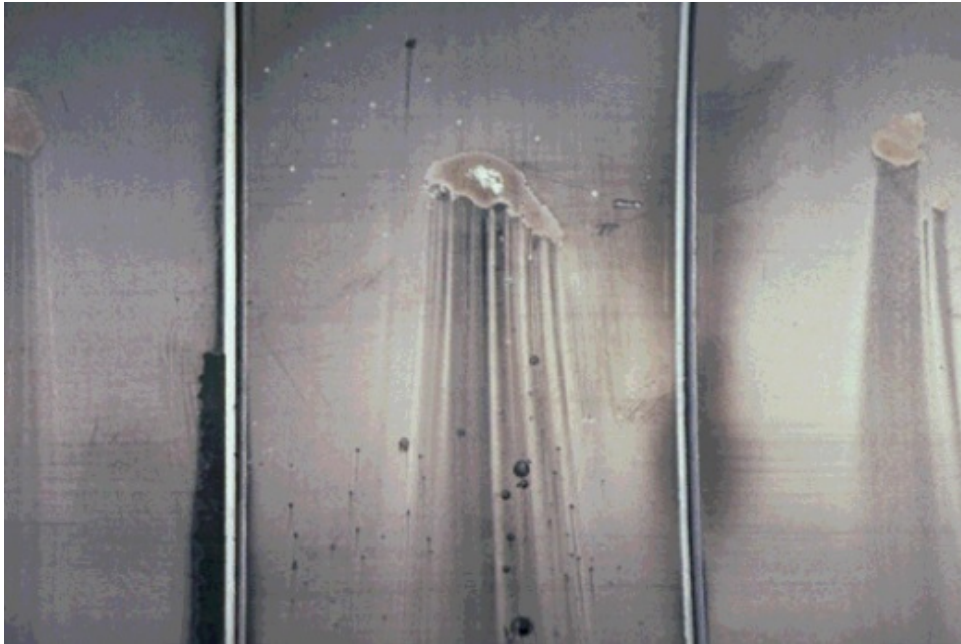


Fig. 10.1.11 Erosión por cavitación.

Hay un poco de erosión por cavitación, indicación de que los cojinetes han faenado muchas horas. Esta información nos dice que todo es normal y que lo único que se necesita es reemplazar los cojinetes.

La erosión por cavitación se produce en áreas de poca carga y puede avanzar por la capa de plomo y estaño y entrar en la de aluminio después de miles de horas de servicio.

En cojinetes como éstos, es corriente que un pedacito de aluminio se desprenda debido a erosión por cavitación. Los pedacitos son muy pequeños y flotan fácilmente en la película de aceite, produciendo por lo general poco desgaste por abrasión.

Si los cojinetes permanecen mucho tiempo en servicio, la capa de aluminio se puede agrietar por fatiga y se desprende del acero. Este cojinete de biela se usó más de 25.500 horas y el desprendimiento de aluminio era considerable.

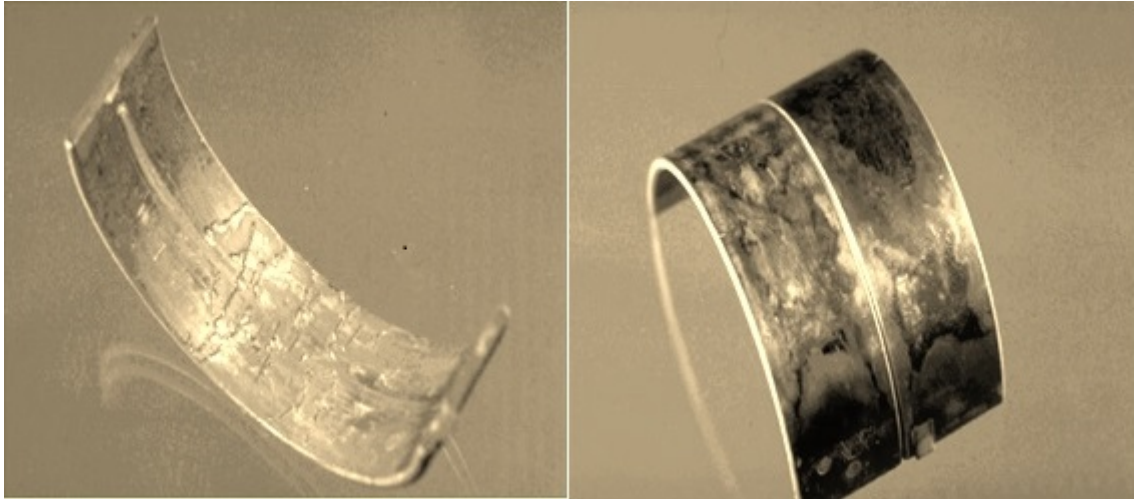


Fig. 10.1.12 Vista del mismo cojinete por ambas caras, donde se aprecia el deterioro debido a varios factores.

La inspección del dorso de un cojinete que ha funcionado durante muchas horas, muestra manchas oscuras normales y muestra también el número y nombre del fabricante.

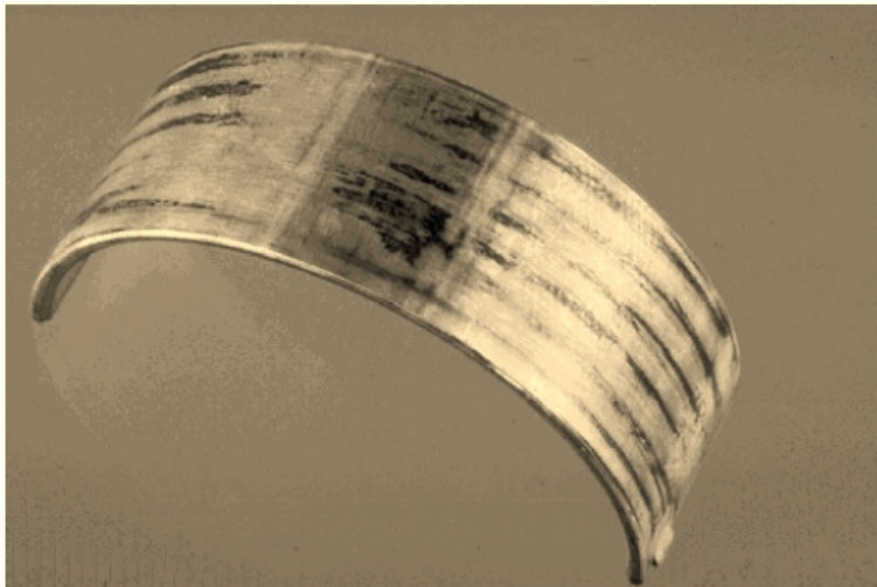


Fig. 10.1.13 Rayado ocasionado por el maquinado del alojamiento de la biela.

Es posible encontrar cojinetes con rayas negras en el dorso, como se ve en esta diapositiva. El pulido de las bielas deja a veces ligeras nervaduras radiales, que forman estas franjas oscuras en el dorso. Esto es normal y no debe preocuparnos.

10.2 Condiciones anormales de desgaste.

Como cada tipo de desgaste anormal puede tener muchas causas, es preciso evitar ideas preconcebidas. El hecho de que alguien tuviera una pérdida de

aceite que originó desgaste por adherencia en muchos cojinetes, no indica que la próxima vez que veamos este tipo de desgaste se deba a pérdida de aceite.

La manera más segura de analizar el desgaste de un cojinete es utilizando algunos pasos que también son aplicables al análisis de fallas. Este método nos ayuda a obtener los datos necesarios, a determinar los tipos de desgaste y a seguirle la pista a los indicios hasta encontrar la causa original del problema.

- Claro estado del problema.
- Organizar una recopilación de datos.
- Observar y registrar los hechos.
- Pensar de manera lógica.
- Identificar la causa más probable.

En el paso tres del método, nos lleva a obtener datos básicos sobre los antecedentes del mantenimiento, operación y aplicación. Por eso, es importante anotar el nivel de aceite de la varilla, la cantidad de aceite del cárter, las mangueras/tuberías dañadas o con pérdidas y otros indicadores similares de condiciones de uso adversas.

También deberíamos tomar nota de las condiciones del mes o meses anteriores a la falla y tratar de ver si ha habido cargas poco comunes, temperaturas altas o bajas o presiones bajas que pudieran haber iniciado la falla de un cojinete.

Necesitamos obtener, identificar y proteger todas las piezas relacionadas con la falla para realizar el mejor análisis posible. Los filtros de aceite y las muestras de los análisis periódicos de aceite son para el analista tan importantes como los cojinetes.

Recomendamos la inspección e identificación de los cojinetes al sacarlos del motor. Se deben numerar a medida que se desmontan, marcando un número en la parte blanda de la superficie de desgaste, cerca de una de las caras de unión o en una lengüeta de colocación.

Los semi-cojinetes inferiores se pueden identificar con un número y la letra “B” (de “bajo”), pero a los de la parte superior se les coloca un número solamente.

Cuando la inspección requiere que los cojinetes se envíen a otros lugares, es necesario unirlos con una cinta en el orden correcto y protegerlos contra los daños de transporte y la corrosión.

No debemos colocar la cinta encima de las superficies de desgaste, y las marcas de colocación deberán seguir el orden que tenían en el motor. Por ejemplo en los motores con cilindros en V las ranuras alternan de biela a biela y los cojinetes deben ir unidos con cinta adhesiva, y alternando las ranuras.

Lo mejor es protegerlos contra la contaminación, así no hay que limpiarlos antes de hacerles la inspección. Pero si se han introducido materias extrañas

después de la limpieza, es conveniente lavarlos con un cepillo de cerdas suaves y un disolvente no corrosivo.

Se deben evitar métodos fuertes de limpieza, como limpiar con cepillo de cerda dura o limpiar con un paño seco. A continuación mostramos los mismos cojinetes después de haberlos limpiado con distintos métodos.

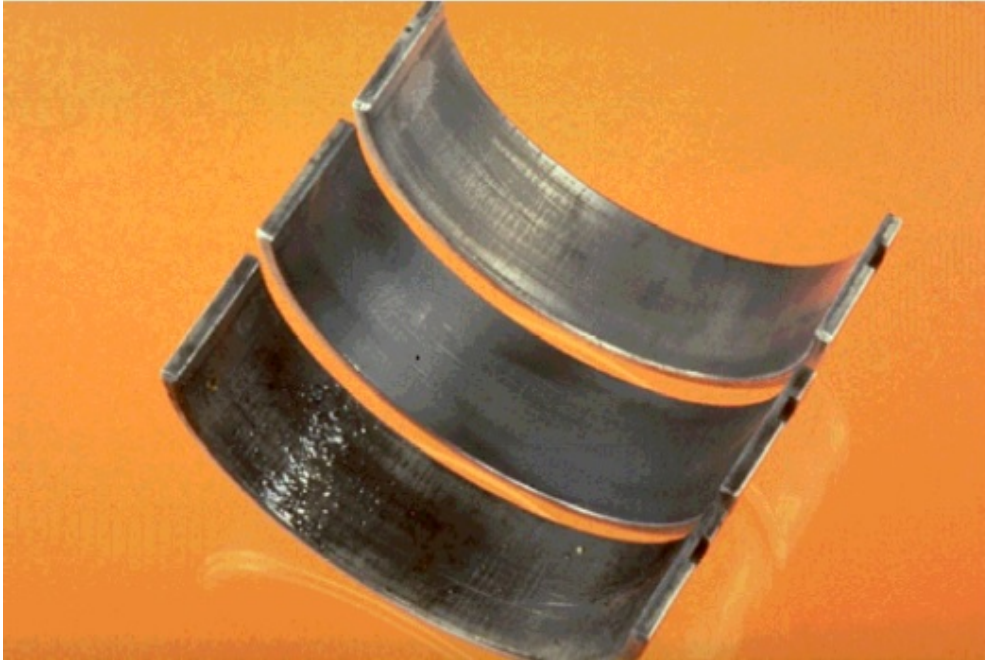


Fig.10.2.1 Ilustra cómo puede variar la superficie de un cojinete al ser limpiados de diferentes maneras.

- El cojinete inferior no se limpió.
- El cojinete del medio ha sido frotado con un paño.
- El cojinete superior se lavó cuidadosamente con un cepillo de cerdas suaves y disolvente.

Puede apreciarse el color oscuro característico del cojinete del centro, donde el polvo se ha incrustado en la superficie blanda al limpiarlo con el paño. Con esta acción de limpieza, se modificaron o eliminaron las burbujas u otras condiciones igualmente endebles de la superficie de desgaste.

Se hace hincapié en esto, dado que es costumbre de los oficiales de máquinas pasar un trapo seco a la superficie del cojinete, pero si se trata de preservar evidencias para enviarlos a un laboratorio donde determinaran la causa de una avería, nunca los refriegue.

Después de quitar las materias extrañas con un método adecuado, lo mejor es observar los cojinetes minuciosamente. Los juegos se deben colocar como van en el motor.

Es necesario tener buena luz y una lupa para estudiar detenidamente las partes más importantes. Al observar los cojinetes en conjunto, podemos preguntarnos si tenemos un problema del sistema o uno de un cojinete aislado.

Los cojinetes en la siguiente diapositiva muestran claramente que ha habido un problema en el sistema de lubricación y que la lubricación de los cojinetes fue marginal.

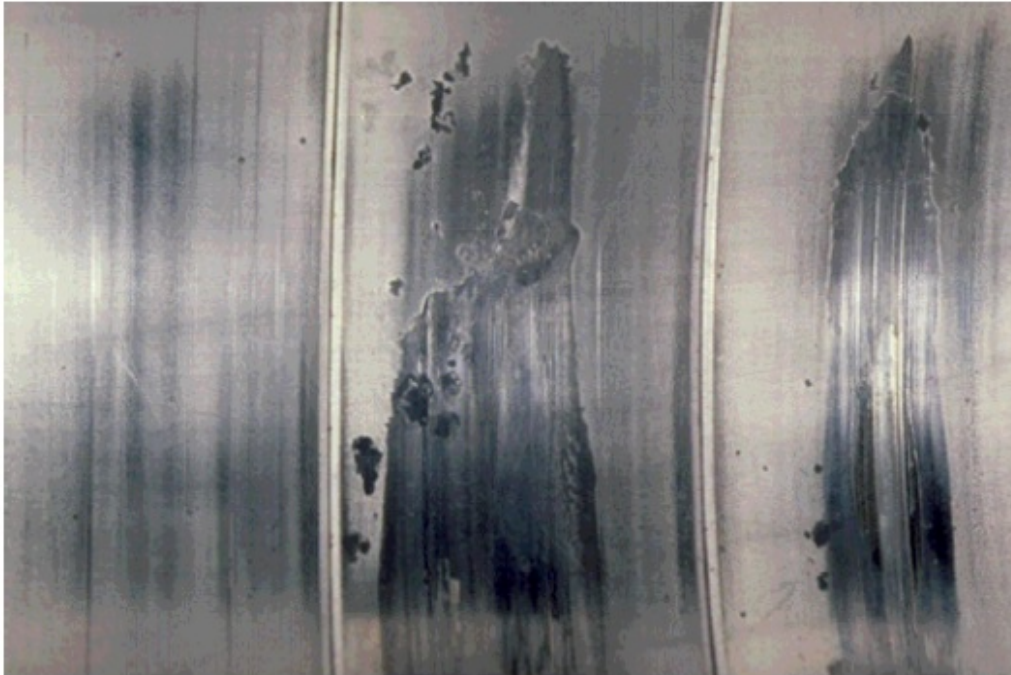


Fig. 10.2.2 Desgaste de cojinetes debido a lubricación pobre.

Después deberíamos estudiar tipos de desgaste de cojinetes por separado para descubrir la condición particular que produjo el daño. Por ejemplo, vemos aquí que cada uno de los cojinetes ha tenido desgaste por adherencia, indicando que la lubricación fue muy escasa y que hubo recalentamiento.

Al inspeccionar los cojinetes debemos mirar todas las superficies, no sólo la de desgaste (interior). A menudo cada una de las superficies tiene algo para añadir al historial del desgaste como pueden ser:

- El semi-casco superior y el inferior.
- La parte interior.
- Las caras de contacto.
- Las ranuras y huecos de lubricación.
- Los bordes y lados.

Debemos tomar el tiempo necesario para ver lo que cada superficie trata de decirnos. Además de determinar tipos y gravedad de desgaste, debemos especialmente hallar pruebas de calentamiento inusitado, desalineación y piezas no genuinas.

- El calentamiento indica presencia de condiciones adversas. El ennegrecimiento y la extrusión indican que las dos piezas estuvieron expuestas a altas temperaturas. Lo que hay que descubrir es por qué no hubo suficiente aceite para enfriar y lubricar el cojinete. Primero

examinaremos los otros cojinetes para ver si tienen daño similar y luego trataremos de determinar la causa de la falta de aceite.

- La desalineación indica pieza doblada o mal montaje. La falta de alineación causa concentración de cargas sólo en una parte de la superficie usable, que resulta en desgaste acelerado descentrado.
- Si la pieza no es genuina debemos encontrar la causa principal y notificar a las partes interesadas. Algunas veces se reacondicionan motores con piezas no genuinas que no prestan buen servicio y la mayoría de las veces esas piezas fallan antes de concluir la vida útil esperada.

El desgaste anormal de cojinetes se da por adherencia, abrasión, erosión por cavitación, desportillamiento por rozadura y daño por impacto. Hay varias causas principales que pueden producir cada uno de estos tipos de desgaste.

Es posible también que los cojinetes tengan problemas de calidad que causen fallas. Si nos familiarizamos con los datos claves del desgaste, podemos reconocer más rápidamente los indicios en análisis futuros de cojinetes.

10.2.1 Desgaste por adherencia.

El desgaste por adherencia se produce cuando las temperaturas de las superficies se elevan tanto, que las capas de plomo y estaño o incluso la de aluminio se funde y se adhieren al cigüeñal.

Muchas son las causas que producen este tipo de desgaste:

- Falta aceite en el cárter.
- Nivel bajo de aceite.
- Viscosidad inadecuada del aceite.
- Contaminación del aceite.
- Dilución del aceite con combustible.
- Líquido refrigerante en el aceite.
- Sobrevelocidad.
- Desalineación.
- Otras causas.

El desgaste por adherencia comienza puliendo el baño de estaño. Si la temperatura sube, la capa de plomo y de estaño se funde y “desparrama”. El desgaste puede avanzar muy rápidamente por el aluminio y llegar al respaldo de acero.

La compresión del cojinete impide que gire mientras se derrite el aluminio. Sin embargo, a medida que el desgaste por adherencia avanza hacia el refuerzo de acero, la fuerza de atascamiento será mayor que la de compresión y el cojinete se quedará pegado al cigüeñal y girará en el agujero de biela.

Cuando los cojinetes fallan por falta de lubricación, las temperaturas sobrepasan los 430 °C y el acero se ablanda y se extruye, como vemos en la

figura 10.2.1.1. Por lo general estas fallas son fáciles de analizar porque la causa de la falta de lubricación está presente en el momento de la falla.



Fig. 10.2.1.1 Tapa de biela totalmente deformada.

Aunque no siempre sucede así y ocasionalmente encontramos que solamente uno de los cojinetes patinó y los otros tienen una apariencia normal, como es el caso de la siguiente imagen.



Fig. 10.2.1.2 Ilustra un caso de un fallo atípico.

En este ejemplo, la falla es difícil de analizar porque:

1. La causa que la originó puede haber ocurrido meses o cientos de horas antes de que sucediera.
2. Porque cuando el cojinete patina, destruye los indicios que nos podrían haber llevado a la causa original.

Por lo tanto solo nos quedarían datos circunstanciales en el lugar de trabajo, registros de parámetros, antecedentes de explotación e incluso el pedazo de hierro roto para ayudar a definir la causa original más probable de la falla.

Todo lo que nos cuentan los cojinete es que había lubricación y refrigerante cuando el motor se paró. Estas fallas se denominan “averías únicas e inexplicadas de cojinetes” y siguen siendo las más difíciles de analizar.

10.2.2 Desgaste abrasivo.

El desgaste por abrasión ocurre cuando partículas extrañas llenan el espesor de la película de aceite o cuando el daño en la superficie desgastada produce irregularidades que llenan el espacio del aceite.

Las superficies de los cojinetes se cortan y estrían si entran residuos duros o se rayan e incrustan si entran residuos blandos. Los lubricantes disipan rápidamente el calor generado, las superficies permanecen casi a la temperatura normal durante el comienzo del daño por abrasión.

Cuando las superficies se ponen tan ásperas que la película de aceite no puede separarlas, se genera calor por fricción y comienza el desgaste por adherencia.

Hay muchas posibles causas de desgaste por abrasión y algunas de ellas son:

- Materias extrañas que han quedado en los conductos de aceite durante el montaje.
- Deficiente tratamiento de limpieza del lubricante.
- Lubricante sin filtrar con partículas de carbón y residuos propios.
- Superficies ásperas en el propio cojinete.
- Abrasivos que hayan podido penetrar al motor desde el exterior, evadiendo los elementos de filtrado.
- Daño por soldadura de arco o picaduras por descarga eléctrica.
- Otras causas

Se calcula que más de la mitad de las fallas ocurridas en el lugar de trabajo resultan del daño por abrasión, y que la causa principal de los abrasivos en el lubricante es la filtración deficiente del aceite.

Aquí vemos partículas abrasivas corrientes, sacadas de un filtro de un sistema de lubricación. A pesar del cuidado que se tuvo durante el montaje, operación y mantenimiento del motor, estos pedacitos de pintura, tierra y carbón entrarán en el aceite.

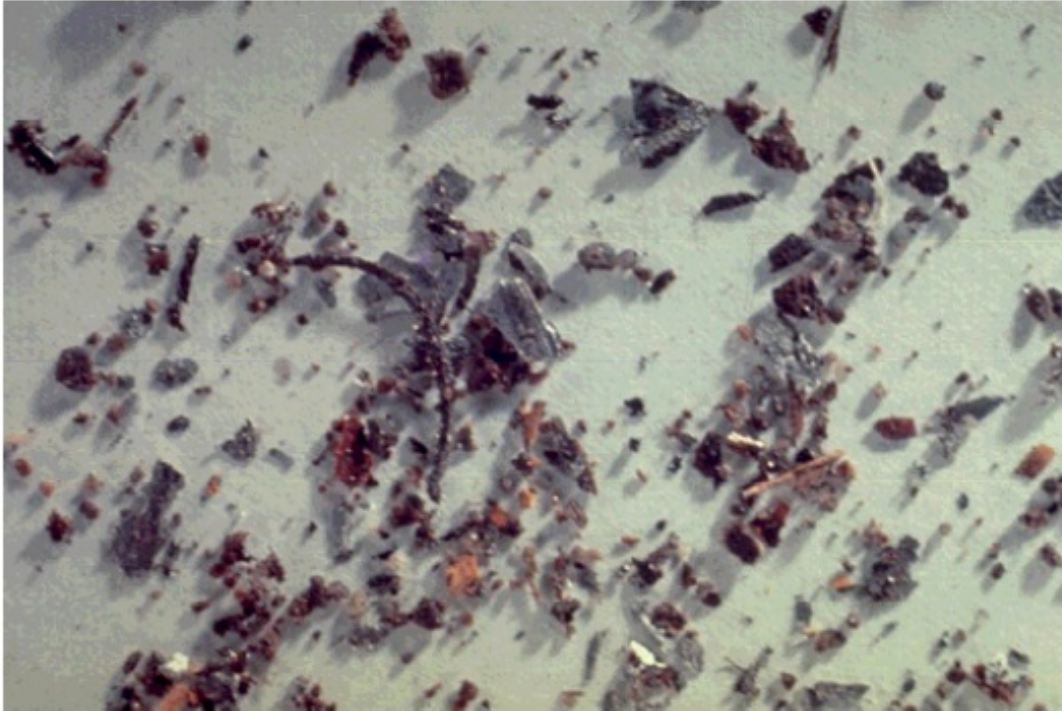


Fig. 10.2.2.1 Partículas abrasivas presente en un filtro de aceite.

El daño por abrasión causado por basura grande y dura es más fácil de reconocer y de identificar. Cuando el rayado es superficial y la profundidad no llega a interesar la capa de aluminio del cojinete, un procedimiento de limpieza con estropajo de aluminio sobre el Babbitt aceitado, puede remediar las ralladuras del recubrimiento.

Cuando los cojinetes tienen un color negro o están ennegrecidos y el corte por abrasión fino les ha quitado la capa de plomo y estaño, debemos empezar a recoger datos sobre la causa del exceso de carbón en el aceite.

Cuando los cojinetes de bancada están gastados y pulidos con apariencia de cromo y cuando los cojinetes de bielas están en buena condición, debemos sospechar que hubo una descarga eléctrica.

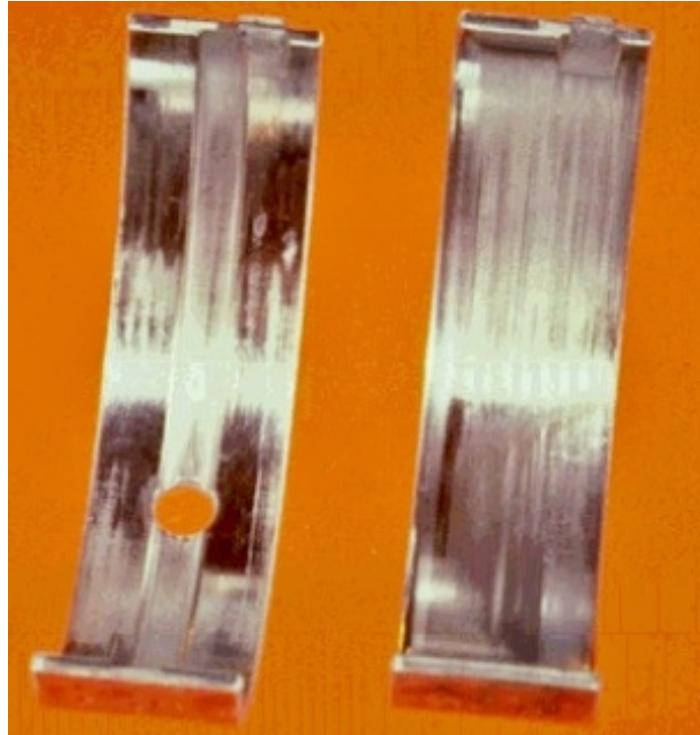


Fig. 10.2.2.2 Cojinetes de bancada totalmente dañados.

Un analista poco cuidadoso puede “saltar” a la errónea conclusión de que se produjo desgaste por adherencia sin haber hecho una inspección detenida de las superficies de desgaste de los cojinetes y del cigüeñal.



Fig. 10.2.2.3 Vista del recubrimiento con pequeñas picaduras.

Una inspección más detallada de la superficie del cojinete revela cortes finos por abrasión y picaduras pequeñas que se parecen a cicatrices de “sarampión”.

Este cigüeñal tiene daños solamente en los muñones de bancada; los muñones de biela están en condiciones normales.

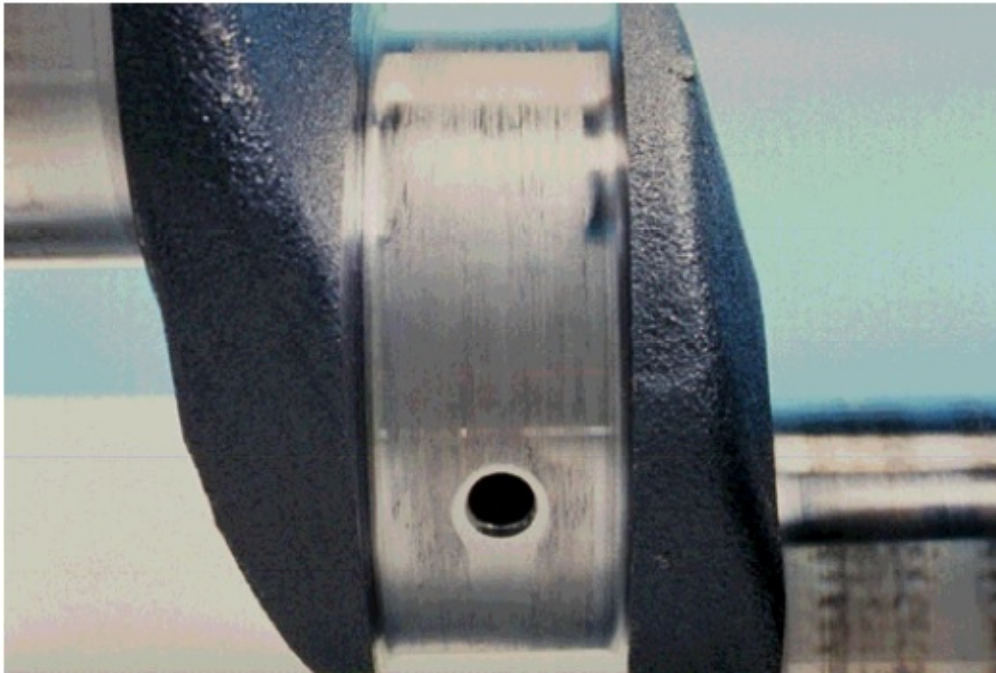


Fig. 10.2.2.4 Escarchado de muñón principal.

Una inspección más detallada de un muñón del cojinete de bancada muestra que está “escarchado”, excepto alrededor del orificio del aceite. Los muñones de biela tienen cierta descoloración ondular, producida por vibración normal del esmeril.

En uno o dos lugares del dorso del cojinete de bancada dañado hay depósitos de óxido de color negro. Dentro de estas áreas negras se ven algunas pequeñas picaduras.

Este desgaste por abrasión se debe a descargas eléctricas por arco, provenientes del cigüeñal, y dirigidas al bloque. La fuente de esta acumulación de voltaje está generalmente en un alternador sin descarga a tierra, porque faltaba conexión a tierra entre el chasis/casco y el motor o estaba rota.

Como la descarga eléctrica venía del alternador, y no existía conexión a tierra, el camino más fácil fue a través del cigüeñal y cojinetes de bancada, picando la superficie de ambos.

Las picaduras de los cojinetes se cerraron, pero las del cigüeñal, que tienen bordes agudos, cortaron la capa blanda de plomo y estaño y la de aluminio. Los residuos blandos producidos eran tan pequeños que flotaban en el aceite hacia los cojinetes de biela sin causarles daño.

Si existe sospecha de que el motor recibió alguna descarga eléctrica, y a revoluciones nominales usted nota pérdida de presión de aceite de alrededor de los 68,65 kPa o ruido de impacto a bajas rpm, lo mejor será no seguir usando ese motor hasta efectuar una revisión.

Continuar con el uso de ese motor dañado, puede producir desgaste secundario por adherencia y hacer que el cojinete dé vueltas. Algo muy importante que todo maquinista debe recordar, es mantener los cambios periódicos de aceite y el chequeo, según el plan de mantenimiento planificado, de los envíos al laboratorio de las muestras de aceite para su análisis.

10.2.3 Erosión por cavitación.

La erosión por cavitación es normal en los cojinetes de biela y de bancada después de muchas horas de servicio. Los vapores atrapados en el aceite de lubricación forman burbujas en áreas de baja presión.

Cuando las burbujas pasan a áreas de alta presión en la película de aceite atrapado, se revientan enviando adentro un chorro de aceite a gran velocidad. La velocidad de este chorro puede ser supersónica, ejerciendo gran fuerza al golpear contra pequeñas áreas de la superficie del cojinete.

La capa de plomo y estaño es blanda y después de repetidas implosiones las áreas pequeñas desarrollan grietas por fatiga. Pronto se desprenden los pedazos pequeños de plomo y estaño que causan poco daño por abrasión. La erosión por cavitación severa indica que las burbujas de vapor eran muy grandes o muy numerosas, o ambas cosas.



Fig. 10.2.3.1 La erosión por cavitación comenzó a quitar el aluminio de este cojinete y produjo un poco de desgaste por abrasión.

A continuación damos algunas causas posibles de burbujas anormales de vapor y la erosión por cavitación producida:

- Restricciones a la entrada de la bomba de aceite que causan cavitación.
- La válvula de derivación de la bomba de aceite retorna aceite (y burbujas de vapor atrapadas) a la admisión de esta bomba y no al cárter, dejando que las burbujas recirculen.
- Viscosidad inadecuada del aceite o largos intervalos sin cambiarlo, el aceite se espesa y la cavitación aumenta.
- Alto nivel de aceite, el cigüeñal se sumerge en aceite e introduce aire.
- Muy bajo nivel de aceite, permite la absorción de aire en la campana de succión.
- Pérdidas de aire del lado de succión de aceite permiten la entrada de burbujas.

¿Cuál sería el peor caso de erosión por cavitación? El que puede producir desgaste secundario por abrasión y acortar la vida útil del cojinete. Por lo tanto es necesario determinar la causa de la erosión y solucionar el problema cuanto antes. Si la causa se debe al funcionamiento excesivo del equipo, la solución puede estar en cambiar los cojinetes a las horas de cambio indicadas.

Como la presión de las películas de aceite atrapado sube delante de las zonas de carga elevada, el daño de erosión por cavitación ocurre en áreas sin carga. El daño es visible y puede alarmar a los clientes, pero rara vez produce fallas.

10.2.4 Corrosión por rozadura.

La corrosión debida al desportillado por rozadura se produce cuando los cojinetes quedan flojos en su alojamiento. Eso puede ser el resultado de:

- Cojinete muy pequeño.
- Alojamiento demasiado grande.
- Perno o tuerca floja.
- Carga demasiado grande.
- Alojamiento cónico o de perfil irregular.
- Basura entre las caras de contacto al montar el cojinete.

La corrosión de desportillado por rozadura no produce los daños más serios en un cojinete original. A menudo un cojinete de repuesto no calza bien en su alojamiento debido a la acumulación de corrosión resultante del desportillado por rozadura del cojinete anterior(original), que produce puntos calientes y desgaste por adherencia en el de repuesto.

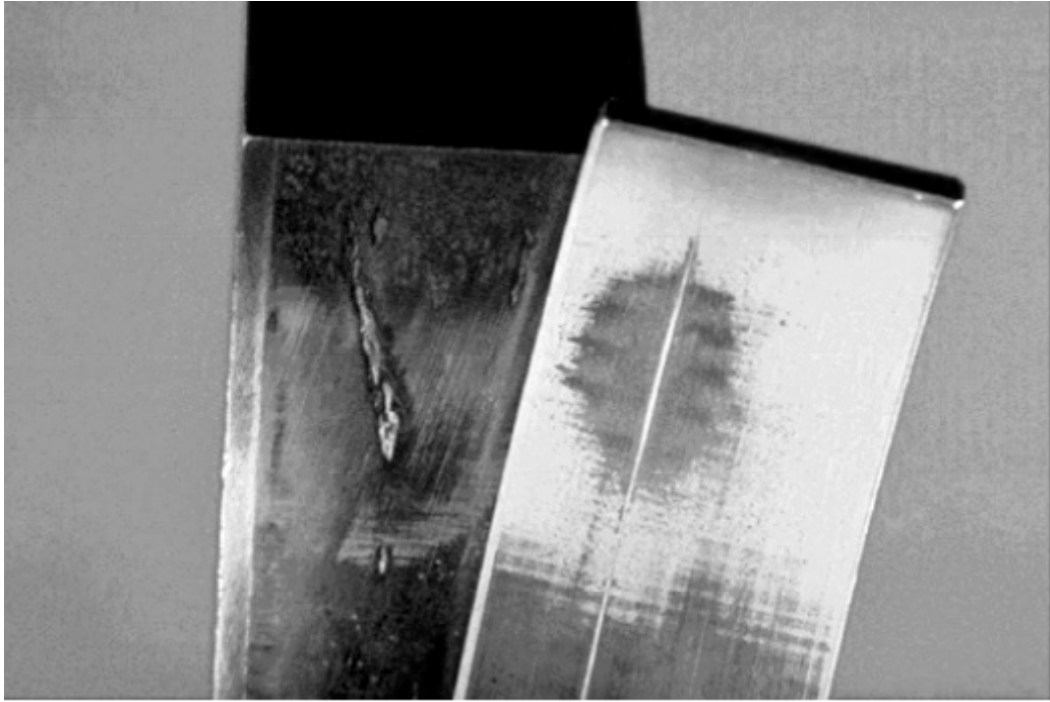


Fig. 10.2.4.1 Vista donde se aprecia la causa del desgaste del cojinete.

Debemos buscar datos circunstanciales en los cojinetes restantes para tratar de saber qué causó la falla. Cuando sacamos el cojinete vemos en su alojamiento considerable acumulación de corrosión debida a desportillado por rozadura.

Este es un depósito de esta corrosión dejada por el cojinete anterior que se había aflojado. El depósito tiene una altura de más de una décima de milímetro y causó contacto entre el cojinete nuevo y el cigüeñal desarrollando un punto caliente a pocas horas de ponerse en funcionamiento.

Cuando hacemos la inspección del dorso del nuevo cojinete vemos que hay una amplia área del dorso que nunca estuvo en contacto con el alojamiento del cojinete, reduciendo la conducción del calor en esta parte de la pieza.

Como muchos de estos cojinetes tienen grandes depósitos de corrosión debido al desportillado por rozadura, es probable que el cojinete que falló también los tenga, lo que pudo haber causado atascamiento y patinaje del cojinete.

A medida que se sacan los cojinetes usados, el oficial cuidadoso debe observar el dorso para ver si hay evidencia de corrosión por trepidación. Si la encuentra, debe tomar las medidas correctivas del caso antes de instalar nuevos cojinetes.

El daño por impacto se produce cuando los cojinetes se salen de su alojamiento mientras están funcionando. Este daño tiene sus propios indicios. Los cojinetes estarán deformados y es posible que tengan daño secundario por abrasión, producido después de que el cojinete empezó a moverse.

Por lo general no se produce desgaste por adherencia y las superficies de desgaste están en condiciones normales. El dorso de los cojinetes de biela tendrá generalmente marcas de impacto donde golpean las caras de contacto de la biela floja, produciendo además mellas y haciendo rotar ligeramente el cojinete.

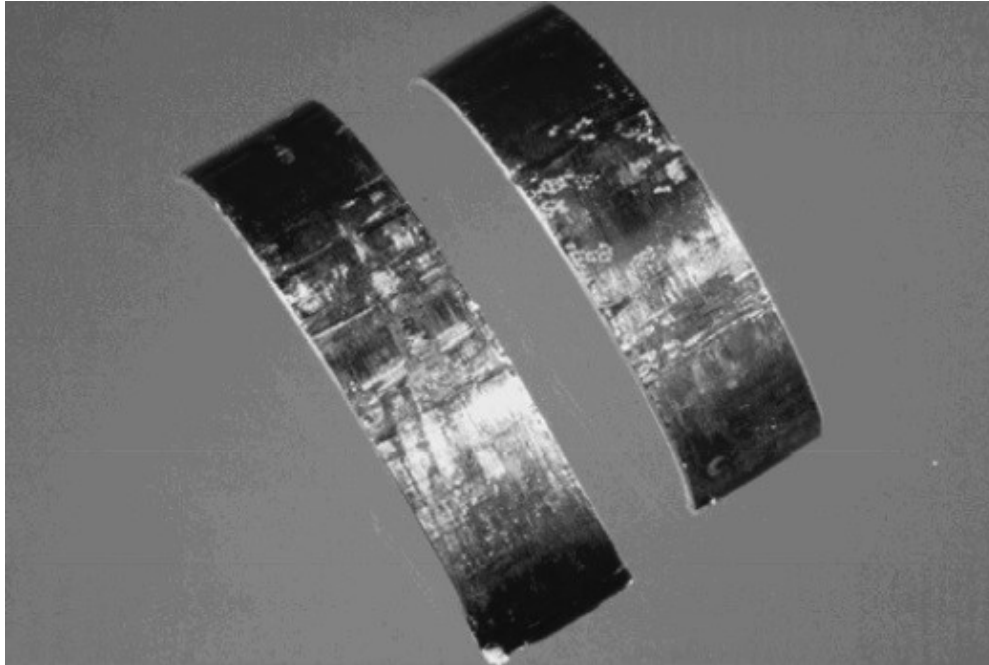


Fig. 10.2.4.2 Aquí vemos varias de esas marcas de impacto.

Esto nos indica que el cojinete fue golpeado repetidas veces y dio vueltas hasta que se salió del alojamiento.

10.2.5 Problemas de fabricación.

Cuando tratamos de encontrar las causas de las fallas de cojinetes, no queremos olvidar la posibilidad de que los cojinetes mismos sean la causa original. Sin embargo, necesitamos recordar que aún con problemas de calidad, los cojinetes duran por lo general la mitad de su vida útil y no se rompen al poco tiempo de estar en servicio.

La mayoría de las fallas de cojinetes se deben a montaje incorrecto, a cargas severas, a temperaturas extremas o a condiciones inadecuadas. Por lo general, no somos suficientemente meticulosos para recopilar hechos y culpamos al cojinete sin razón.

Debemos buscar hechos e indicios para identificar la causa del problema y dejar que esos factores nos digan si fue el cojinete mismo o el ambiente hostil lo que originó la falla.

La capa de estaño y plomo de los cojinetes nuevos puede ocasionalmente tener burbujas pequeñas como las que se ven en este cojinete con pocas horas de servicio. Esta condición se produce durante el enchapado, al aplicar el agente de unión y las capas de plomo y estaño.

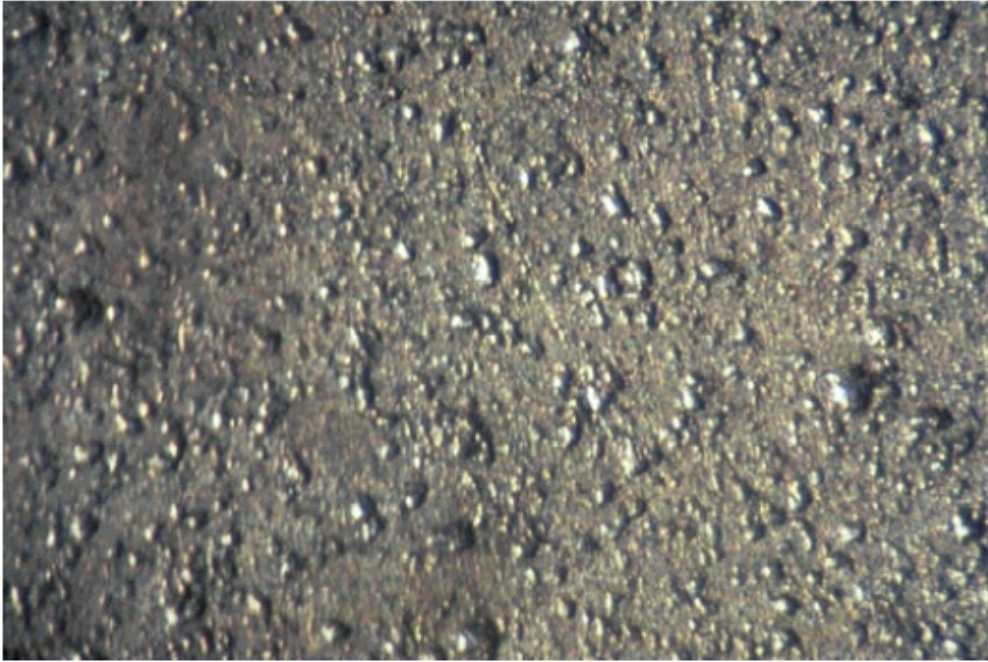


Fig. 10.2.5.1 Defecto de fabricación visto con una lupa de 400 aumentos.

A medida que se usa el cojinete, las burbujas se rompen en la parte superior y dejan un agujero oscuro en la capa. Esta apariencia puede que nos haga sospechar que hubo corrosión, pero los resultados del análisis de aceite deben verificar si el TBN^[9] es aceptable.

Aunque no hay fallas atribuidas a las burbujas, éstas preocupan al analista y se deben tener en cuenta si se produce una falla inexplicable de cojinetes. Algunas veces encontramos un cojinete en el cual la capa de plomo y estaño empieza a desprenderse de la de cobre. Si esto se da en gran escala, se llama “desencapado” del plomo estaño.

Una inspección más detallada nos indica que la capa de plomo y estaño se separó del cobre. A veces los fabricantes de cojinetes tienen problemas en los procesos de producción y la unión de ambas es muy débil.

Pero como las altas temperaturas pueden también afectar a las uniones, debemos buscar datos que verifiquen que ha habido temperaturas normales en las superficies de los cojinetes antes de acusar al cojinete de tener problemas de unión entre las capas. Si ha habido una condición adversa, la separación podría ser el resultado de altas temperaturas y no la causa original de la falla.

Raras veces la capa de plomo y estaño se separa completamente de la de aluminio. Este problema de cojinete no produjo ninguna falla, pero la eficacia de la capa de plomo estaño se ha menoscabado.

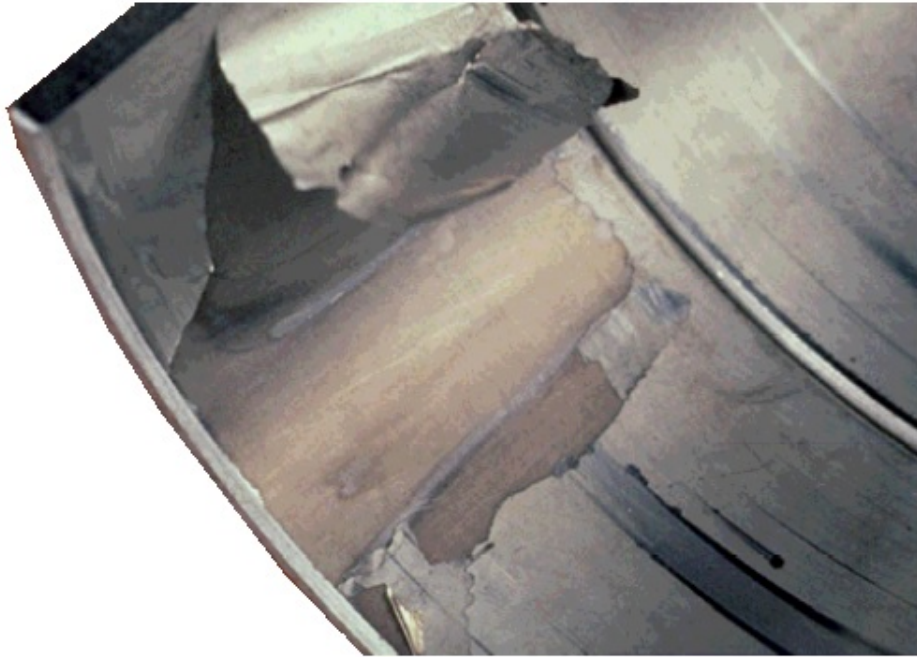


Fig. 10.2.5.2 Ilustra la capa del Babbitt desprendida en un cojinete con muy pocas horas de trabajo.

Una inspección más detallada nos hace ver que la limpieza insuficiente después del enchapado del aluminio dejó un residuo en la capa de aluminio que debilitó la unión entre el cobre y las capas de aluminio.

Con las cargas normales, esa capa de plomo y estaño debilitada se separó del aluminio. Los pedazos de plomo y estaño se separaron y causaron daños por residuos blandos.

La capa de aluminio también puede separarse de la del acero, como resultado de una unión poco resistente o por cargas elevadas o altas temperaturas. A medida que las capas se desprenden, la de aluminio se rompe al circular el aceite, produciendo desgaste por abrasión y se deposita en el cárter o en los filtros de aceite.

Cuando la capa de aluminio se separa del casquillo de acero, y “NO” se debe a los siguientes factores:

1. Que hubo cargas anormales.
2. Se ha prolongado el intervalo de servicio.
3. No hay desgaste por adherencia (las capas de plomo y estaño y de aluminio no se han fundido ni desparramado).

Entonces debemos sospechar que la unión entre el aluminio y el acero era más bien débil.

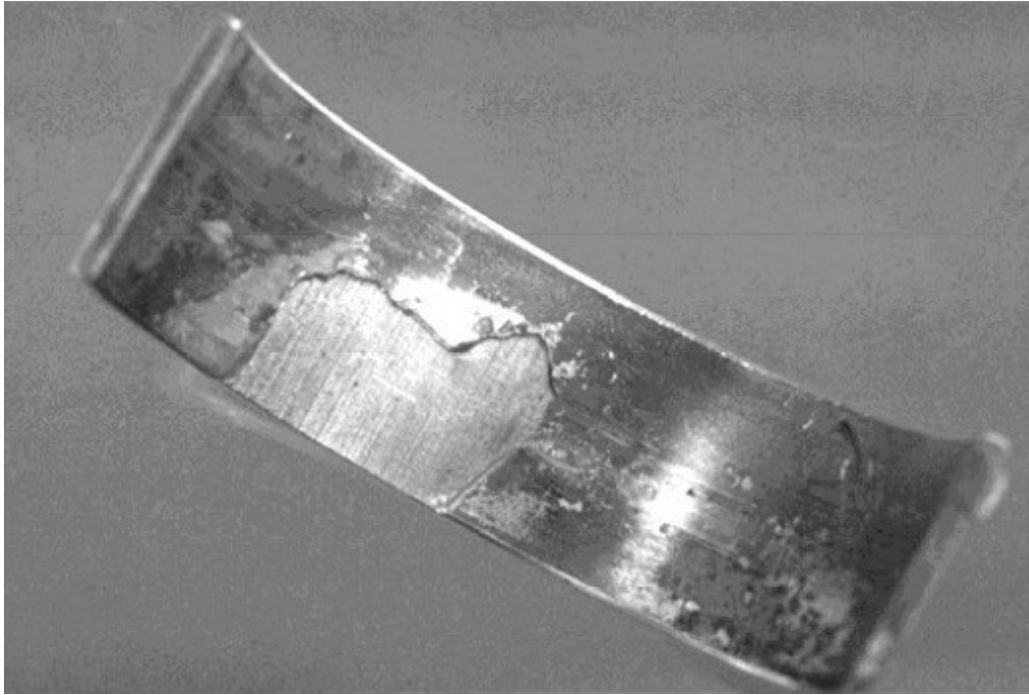


Fig. 10.2.5.3 Muestra una amplia zona donde se ha separado el aluminio.

Una inspección más detallada nos hace ver que hay asperezas en el casquillo de acero y pequeñas grietas por fatiga en las áreas de elevada carga alrededor de la superficie de plomo y estaño. No hubo recalentamiento y el daño fue sólo por abrasión con residuos blandos producidos por los pedazos de aluminio que circularon en el aceite del cojinete.

Eventualmente toda la capa de aluminio se desprenderá, si un cojinete se mantiene en servicio cuando ha fallado la unión entre las capas. Si sigue funcionando más tiempo este cojinete, las superficies de acero entran en contacto y generan suficiente calor para soldar por fusión el cigüeñal y hacer que gire el cojinete.

Cuando la temperatura de la superficie se eleva a más de 190°C y el dorso de acero permanece frío, porque la conducción del calor al alojamiento es buena, la unión entre las capas de aluminio y acero se ve afectada por la expansión térmica de la capa de aluminio.

Cuando vemos desgaste por adherencia y separación de la unión al mismo tiempo, debemos sospechar que la separación de la unión es el resultado de temperaturas elevadas.

Terminado este capítulo, pasaremos a ver las principales causas de fallas de cojinetes en los motores de combustión interna y daremos una pautas para facilitar el diagnóstico certero ante una avería, y así determinar que lo causo, las causas posibles y como corregirlo.

11 PRINCIPALES CAUSAS DE LOS FALLOS EN LOS COJINETES

Es sabido que cada pieza de un motor con el tiempo se desgasta y si todas las piezas funcionaran siempre durante el tiempo total de su esperada vida útil, nuestro trabajo sería bastante simple. Por desgracia, no siempre podemos contar con que una pieza o parte de un motor falle, solo porque llegó a exceder su vida útil normal.

Un maquinista no sólo debe ser un "reemplazador de piezas", sino que debe ser como un médico, debe ser capaz de diagnosticar su "paciente" para determinar por qué una parte falló prematuramente.

La siguiente tabla muestra las ocho principales causas de fallo prematuro de los cojinetes de un motor, junto con los porcentajes que indican con qué frecuencia se han encontrado cada una de las fallas prematuras del cojinete, sin embargo, es importante señalar que en muchos casos el fallo prematuro del cojinete es debido a una combinación de varias de estas causas.

Suciedad	45,4%
Mal ensamblaje	12,8%
Desalineamiento	12,6%
Lubricación insuficiente	11,4%
Sobrecarga	8,1%
Corrosión	3,7%
Acabado del muñón	3,2%
Otras	2,8%

Tabla 11.1 Porcentaje de las principales fallas precoces de los cojinetes.

Por todo lo anteriormente expuesto, podemos pensar que si un oficial de máquinas simplemente reemplaza un cojinete dañado en un motor sin determinar la causa de su fracaso, seguramente más del 99% de las veces tendrá que volver a repetir la operación, porque sin duda alguna la falla volverá a repetirse.

Todo esto significa que, al igual que un médico no puede curar a un paciente hasta que haya determinado el problema que le aqueja, así mismo también un oficial de máquinas no puede corregir la causa del fallo prematuro del cojinete hasta que primero determine cuál es la causa del fallo.

Para hacer más fácil el diagnóstico a partir de una observación/investigación, lo mejor será organizar convenientemente cada una de las diferentes fallas en cuatro temas principales:

1. Apariencia: una ilustración y una breve descripción de un cojinete que ha fallado debido a una causa específica.
2. Daño: que fue lo que realmente provocó el daño y bajo qué condiciones se presentaron.
3. Posibles causas: una lista de aquellos factores capaces de crear la acción del daño en particular.
4. Acción Correctiva: la acción que se debe tomar para corregir la causa del fallo.

Anteriormente hemos hablado de las ocho causas fundamentales que provocan los fallos prematuros en los cojinetes de fricción, sobre todo para la aplicación de motores de combustión interna, aunque algunos guardan relación con otras máquinas.

Realmente existen algunos fallos adicionales que no se contemplan aquí de manera detallada, para no hacer extenso y tedioso el trabajo. A continuación expondremos varios ejemplos según su porcentaje de casos.

11.1 Suciedad

11.1.1 Partícula extraña en el revestimiento del cojinete

Apariencia: observará las marcas de arañazos en la superficie del cojinete. Además, a simple vista o con ayuda de una lupa verá pequeñas incrustaciones de partículas extrañas en el revestimiento del cojinete.

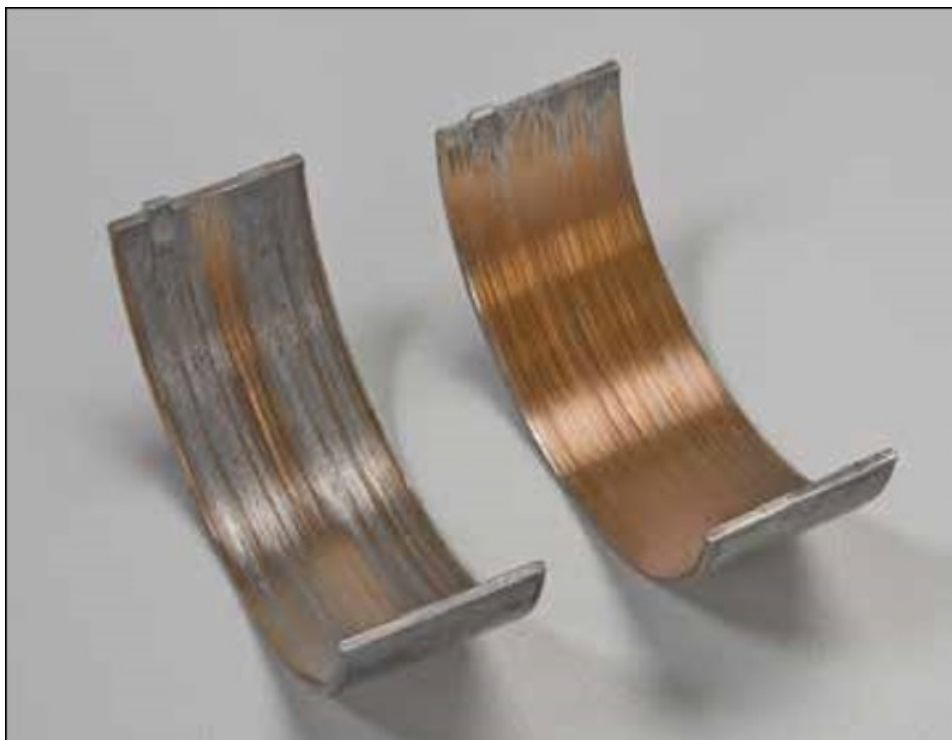


Fig. 11.1.1.1 Vista de un juego de cojinetes dañados como consecuencia de partículas extrañas en su superficie.

Daño: rayado de la superficie total o parcial originados por:

- El polvo.
- La suciedad.
- Partículas abrasivas y/o metálicas presentes en el aceite.
- Incrustación en el revestimiento Babbitt.
- Desplazamiento del metal y la creación de puntos altos.

Los puntos altos pueden ser lo suficientemente grandes como para hacer contacto con el muñón, provocando una fricción que puede conducir a una eventual ruptura del revestimiento del cojinete.

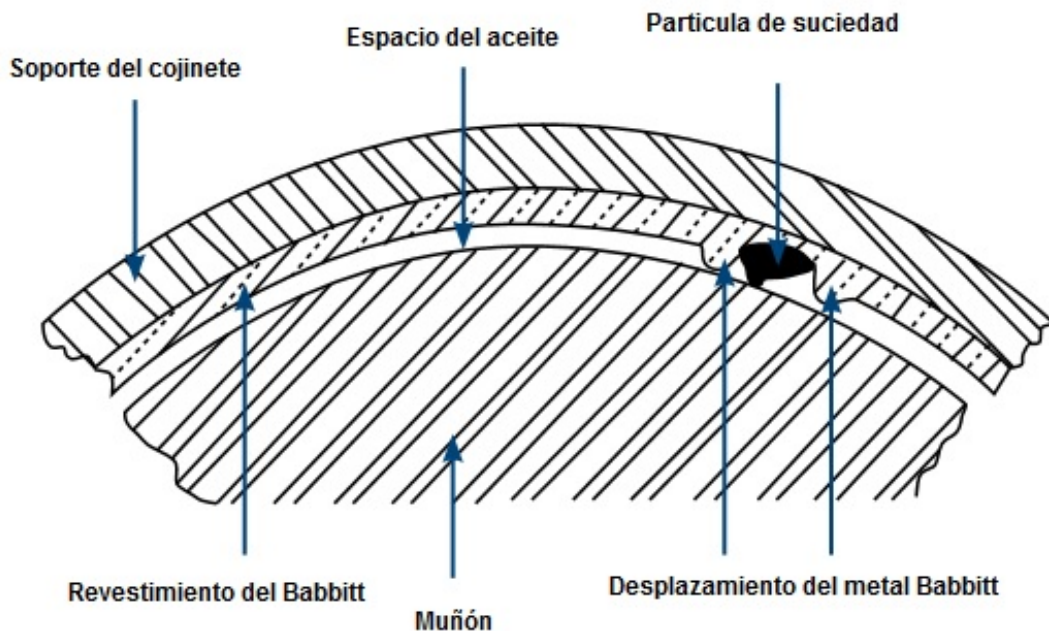


Fig. 11.1.1.2 Ilustra el efecto creado por una partícula al penetrar el Babbitt.

Las partículas extrañas pueden incrustarse sólo parcialmente y la parte que sobresale pueden entrar en contacto con el gorrón y causar un efecto de disco abrasivo.

Causas posibles:

- Una limpieza inadecuada de las partes del motor previa al ensamblaje.
- Suciedades tales como: partículas en suspensión como polvo y/o arena que entran al motor a través del colector de admisión de aire o de un filtro de aire defectuoso.
- Desgaste de otras piezas del motor, las cuales divididas en pequeños fragmentos, pasan al sistema de alimentación de aceite del motor.

- Descuidos al reemplazar los filtros de aire y aceite del motor.

Acción correctiva:

- Inspeccionar la superficie del muñón en busca de cualquier desgaste o desperfecto que pueda verse en todo su contorno.
- Esmerilar la superficie del muñón, si es necesario.
- Instalar los nuevos cojinetes, siguiendo los procedimientos de limpieza adecuados.
- Es muy recomendable que el operador haya cambiado el aceite, filtro de aire, filtro de aceite y filtro de ventilación del cárter según lo estipulado por el fabricante.

11.1.2 Partícula extraña en la parte posterior del cojinete

Apariencia: un área localizada de desgaste puede verse en la superficie de apoyo. Además, la evidencia de partículas extrañas, pueden ser visibles en la parte posterior de la concha del cojinete o directamente en el alojamiento del cojinete detrás del área de la superficie desgastada.



Fig. 11.1.2.1 Vista de la parte delantera y posterior de un cojinete donde se aprecia el desgaste localizado en una zona.

Daño: desgaste en un área del cojinete.

Provocado por partículas extrañas alojadas entre el cojinete y su alojamiento. Impidiendo que toda la superficie del cojinete pueda estar en contacto con la base de su alojamiento.

Esto dará como resultado, que la transferencia de calor del cojinete a la superficie del alojamiento no es uniforme, causando un recalentamiento localizado en la superficie del cojinete que reduce su vida útil.

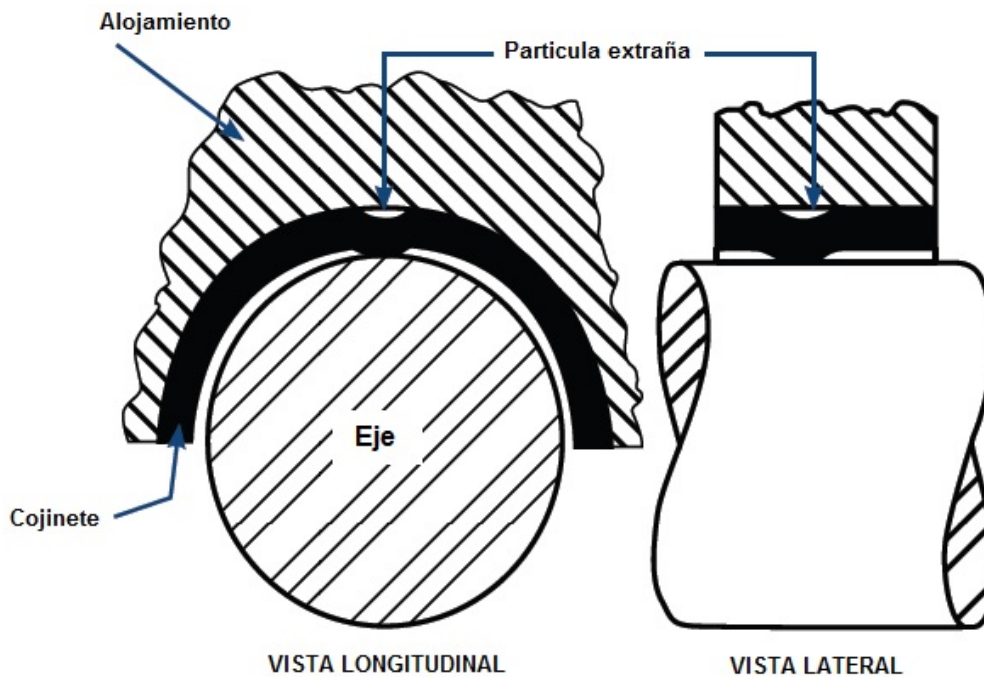


Fig. 11.1.2.2 Vista del punto alto creado en el cojinete.

Además, una distribución desigual de la carga provoca un área de presión anormalmente alta sobre la superficie del cojinete, incrementando el desgaste localizado en este material.

Posibles causas: la suciedad, los polvos abrasivos o bien partículas metálicas presentes en el motor en el momento del montaje o creados por una operación de eliminación de rebabas, las cuales pueden quedar atrapadas entre el alojamiento y la parte posterior del cojinete.

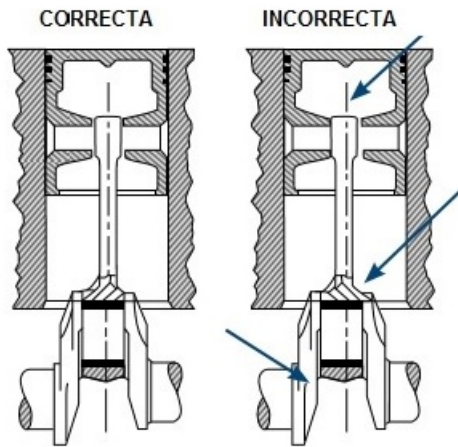
Acción correctiva:

- Inspeccione la superficie del muñón y los posibles desperfectos y si observa un excesivo desgaste, corríjalo.
- Instale nuevos rodamientos siguiendo una limpieza adecuada y unos procedimientos seguros de eliminación de rebabas.

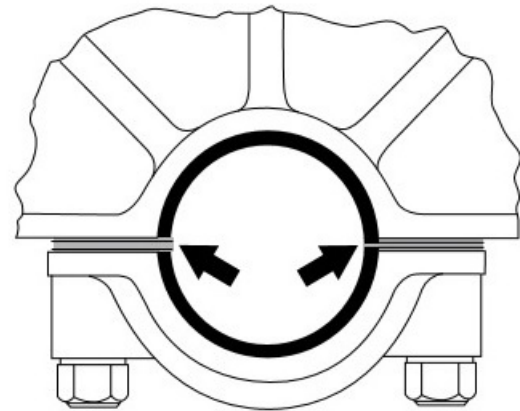
11.2 Mal ensamblaje

Los cojinetes del motor no funcionarán apropiadamente si son instalados de forma incorrecta. En muchos casos, el mal ensamblaje dará lugar a un fallo prematuro del cojinete.

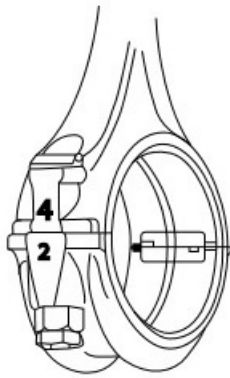
A continuación ilustramos los errores de ensamblaje más típicos que a menudo se presentan en la instalación de los cojinetes de un motor.



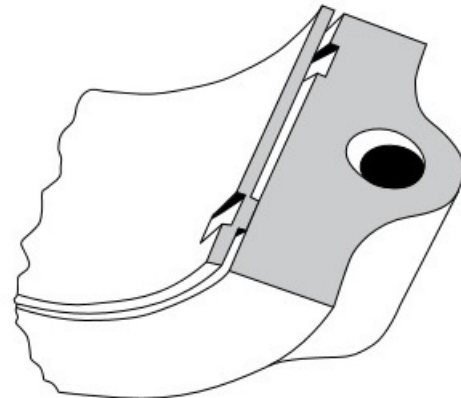
Posición invertida de la biela



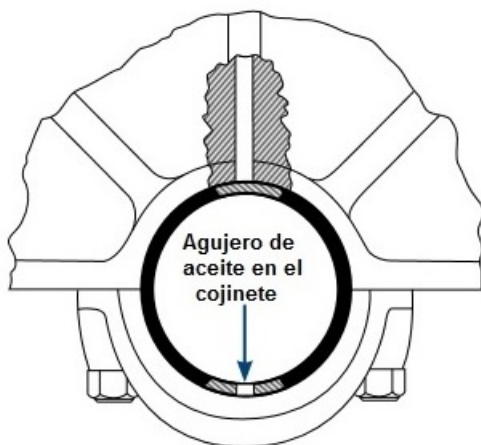
Incorrecta instalación de los semi-cojinetes



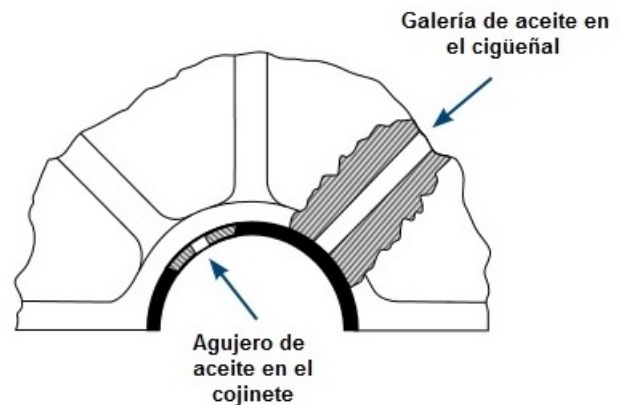
Posición incorrecta de la tapa de biela



Clavija de fijación fuera de su sitio



Cojinetes invertidos



Desalineación de la galería de aceite respecto al agujero del cojinete

Fig. 11.2.1 Errores más comunes cometidos durante el montaje de los elementos de un motor y que afectan a los cojinetes de fricción.

11.2.1 Desplazamiento de la tapa durante el Montaje.

Apariencia: Áreas de desgaste excesivo pueden ser vistas cercanas a las líneas de separación en los lados opuestos de los cojinetes superiores e inferiores.



Fig. 11.2.1.1 Semi-cojinetes desgastados debido a un mal montaje.

Daño: Mal montaje de la tapa del cojinete de biela.

Al desplazar su posición ha causado que una cara de cada concha, justo en la línea de separación, sea empujada contra el muñón de biela.

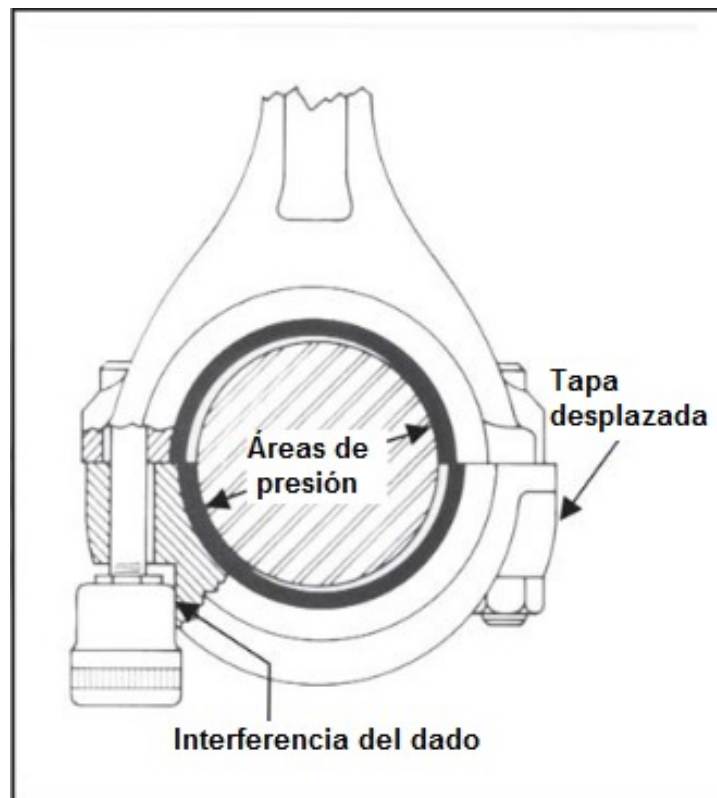


Fig. 11.2.1.2 Ilustra un desplazamiento de los semi-cojinetes.

La excesiva presión en esa área y el contacto resultante de metal contra metal, provoca el deterioro de la superficie del cojinete por encima del desgaste normal.

Posibles causas:

- En ocasiones, usando un dado demasiado grande para apretar la tapa del cojinete, puede hacer que el zócalo del dado tropiece contra la tapa y cause el desplazamiento.
- La inversión de la posición de la tapa del cojinete.
- El uso de pasadores (si los lleva) inadecuados entre la tapa del cojinete y el alojamiento.
- Torque inadecuado de los pernos de la tapa, donde quedan flojos y como resultado pueden desplazarse de su posición durante el funcionamiento del motor.
- Agujeros de los pernos de la tapa, agrandados o pernos estirados, que permiten un mayor juego entre las partes, que el que realmente debiera tener.

11.2.2 Compresión o aplastamiento excesivo.

Apariencia: Áreas de desgaste extremo, visibles a lo largo de la superficie de apoyo adyacentes a una o ambas caras de la línea de separación. Frecuentemente el desgaste puede tener un patrón en forma de X, cuando existe un agujero de aceite.

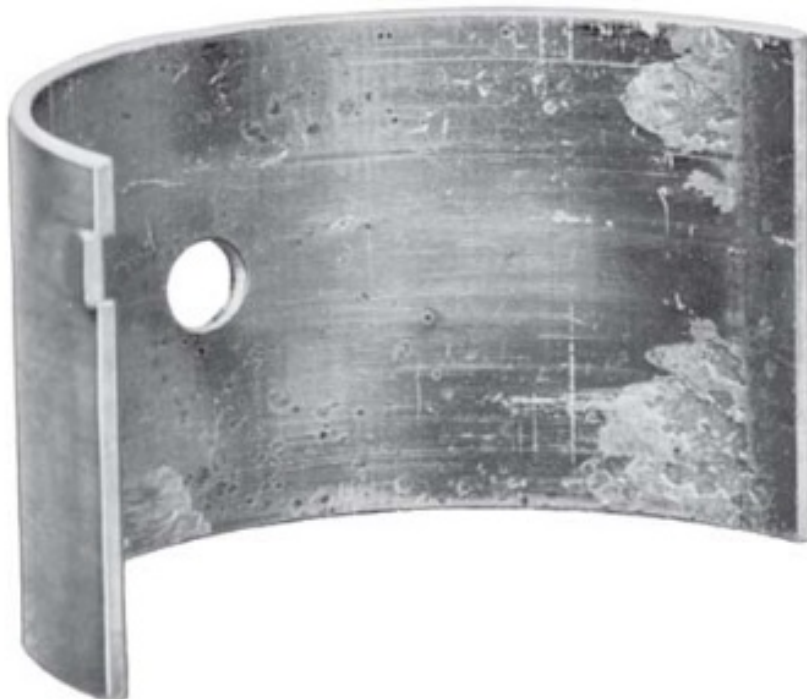


Fig. 11.2.2.1 Desgaste excesivo en el extremo del cojinete.

Daño: desgaste por compresión o aplastamiento.

Antes de que la tapa del cojinete sea ensamblada, una pequeña porción del cojinete se extiende un poco más allá del borde del alojamiento del cojinete. Así, cuando la tapa del cojinete se aprieta, el cojinete es forzado contra la carcasa del cojinete.

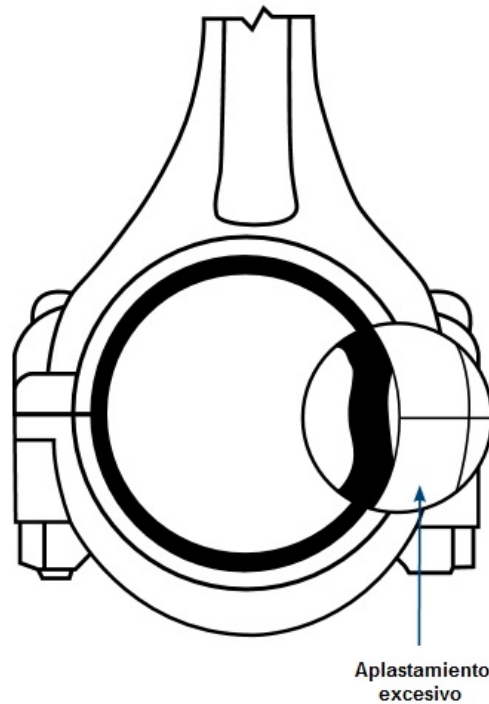


Fig. 11.2.2.2 Representación del aplastamiento en el interior de la biela.

Cuando hay demasiado aplastamiento, la fuerza de compresión adicional creada por el excedente que permanece después de que el cojinete ya está completamente asentado, hace que éste se abulte hacia adentro, justo donde se encuentran divididas las caras. Esta distorsión del cojinete se le llama "sidepinch^[7]".

Posibles causas:

- Los bordes de las tapas de los cojinetes se limaron en un intento de reducir la holgura de la película de aceite.
- Las tapas de los cojinetes se ensamblaron con demasiado apriete, debido a un torque excesivo.
- No se utilizaron suficientes calces (si fuera el caso) entre la tapa y el alojamiento.

Acciones correctoras:

- Rehacer o refundir el alojamiento del cojinete del bloque del motor, si ha sido esmerilado o limado.

- Reemplazar la biela completa, si la tapa del cojinete ha sido limada.
- Compruebe las superficies del muñón y rectifique si es necesario.
- Instale el nuevo cojinete y siga los procedimientos de montaje apropiados. Recuerde, nunca rebaje la tapa del cojinete y siempre realice el apriete recomendado.
- Corrija el espesor de los calces (si corresponde).
- Ensamble la biela y compruebe si existe ovalamiento del diámetro interior del cojinete por medio de un micrómetro interior, de un patrón calibrado o por cualquier otro método que determine que todo se encuentra dentro de los límites de seguridad.
- Con el cojinete montado, chequee el diámetro interior máximo, medido siempre de un lado al otro de la línea divisoria entre las conchas.

11.2.3 Compresión o aplastamiento insuficiente.

Apariencia: zonas bastante pulidas y visibles en el reverso del cojinete y/o en el borde de la línea de separación de las tejas. Áreas de cráteres o bultos debido a transferencia de metal entre el cojinete y su alojamiento. A esto se le conoce comúnmente como "fretting"^[8].

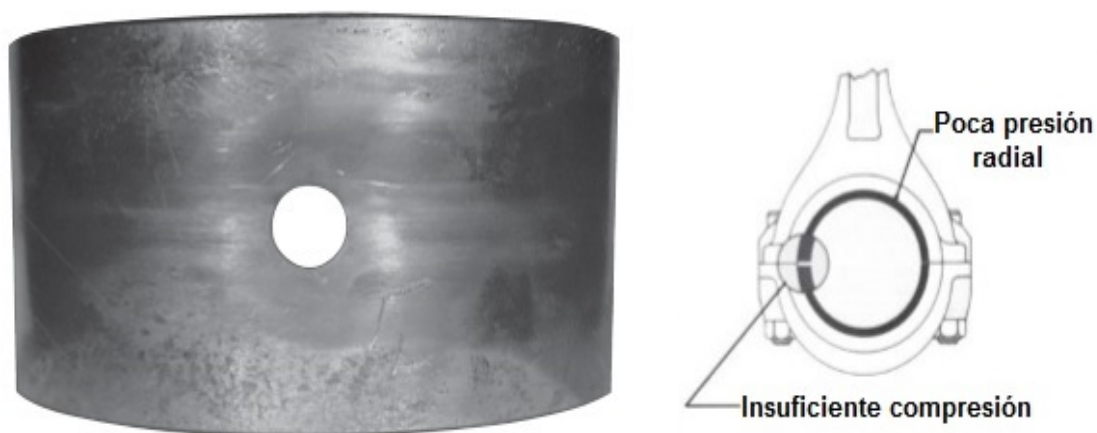


Fig. 11.2.3.1 Vista de la parte posterior de un semi-cojinete con cráteres y pulido de su superficie.

Daño: Cuando se monta un cojinete con insuficiente compresión, éste queda suelto y por lo tanto se moverá de un sitio a otro dentro de su alojamiento.

Debido a la pérdida de la presión radial, existe un contacto inadecuado con el alojamiento del cojinete, impidiendo así la transferencia de calor al exterior del cojinete. Como resultado, el cojinete se recalienta causando el deterioro de su superficie.

Posibles causas:

- Las caras de unión de la línea que divide las tejas dentro del alojamiento, se desbastan en un equivocado intento de lograr un mejor ajuste, eliminando así la compresión.
- Las tapas de los cojinetes se mantienen abiertas por la suciedad o rebabas entre las superficies de contacto.
- Insuficiente torque durante la instalación.
- El alojamiento está a sobremedida o la tapa del cojinete se estiró, minimizando así la compresión.
- Se utilizaron demasiados calces entre la biela y la tapa.

Acciones correctoras:

- Limpiar las superficies de contacto de las tapas de los cojinetes e inspeccionar en busca de muescas y rebabas antes de su montaje.
- Comprobar la superficie del muñón por si existen signos de desgaste excesivo y repare si es necesario.
- Compruebe el tamaño y el estado del alojamiento y reacondicione si es necesario.
- Corrija los espesores de los calces (si es aplicable).
- Instalar nuevos cojinetes utilizando procedimientos de instalación correctos (nunca lime las caras de contacto de los cojinetes).

11.3 Desalineamiento

11.3.1 Biela doblada o torcida.

Apariencia: las áreas de desgaste excesivo se pueden ver en los extremos opuestos de los semi-cojinetes de biela superior e inferior. El desgaste se localiza en una porción de la superficie del cojinete, con poco o ningún desgaste en el resto.

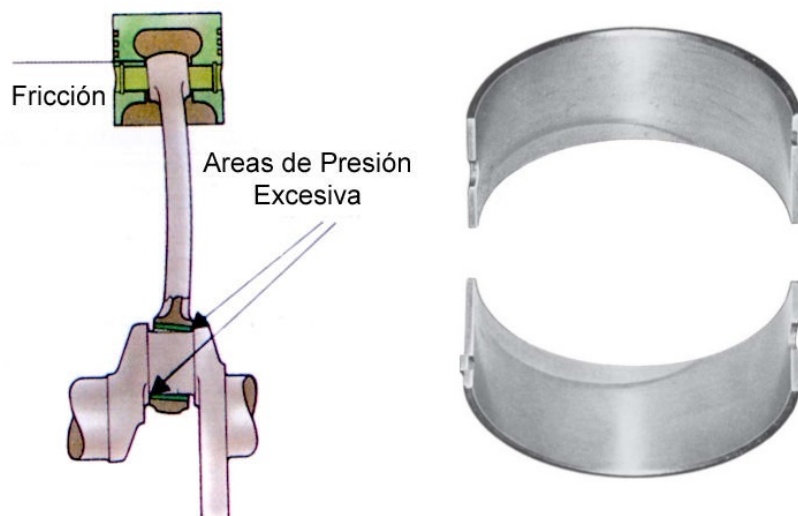


Fig. 11.3.1.1 Se observa el desgaste en los bordes de ambas tejas.

Daño: Una biela torcida o doblada, da como resultado la desalineación de la cabeza de biela provocando el ladeado de la misma, por lo que el borde del cojinete hará contacto metal con metal con el muñón de biela, causando un desgaste excesivo en la superficie del cojinete.

Posibles causas: La causa más común de una biela doblada, puede haber estado condicionada por un fallo anterior del motor como:

- Una junta de culata estropeada, que permitió la entrada de agua refrigerante al cilindro.
- Una válvula caída, que haya sometido al pistón y al vástago a una carga extrema, deformando así este último.
- Sometida a condiciones extremas de operación, sobrecarga.

Otras causas probables pueden ser:

- Durante el reacondicionamiento o el proceso de fabricación de la biela, no se haya mantenido un paralelismo entre los orificios superior e inferior de la misma.
- Dejar caer o maltratar la biela antes del montaje.

Acciones correctoras:

- Inspeccione la biela y sustitúyala si esta doblada o torcida.
- Chequee la superficie del muñón de biela y compruebe si existe desgaste excesivo, reacondicione o sustituya si es necesario.
- Instale nuevos cojinetes.
- Evite caídas o abusar de la biela antes del montaje.
- Utilizar técnicas de instalación adecuada.
- Compruebe las partes relacionada con la culata del cilindro y reemplace si es necesario.

11.3.2 **Distorsión del bloque o la bancada.**

Apariencia: un patrón de desgaste es visible en la mitad superior o inferior del conjunto completo de los cojinetes principales. El grado de desgaste varía de cojinete a cojinete dependiendo de la naturaleza de la distorsión. El centro del cojinete por lo general muestra el mayor desgaste.

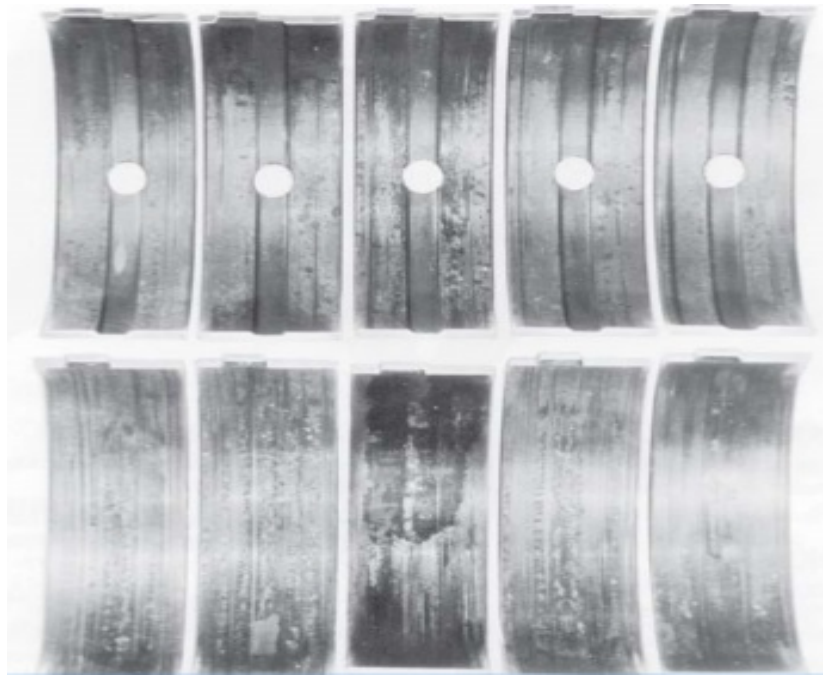


Fig. 11.3.2.1 Juego completo donde se aprecia diferencia de desgaste en los cojinetes.

Daño: una distorsión del monobloque (motores pequeños) o bancada (muy rara vez), impone cargas excesivas en los cojinetes principales, coincidiendo el punto de mayor carga con el punto de mayor distorsión. Estas cargas excesivas causan un desgaste pronunciado del cojinete. Además, reduce la holgura de la película de aceite y posibilita el contacto metal con metal en el punto de mayor distorsión.

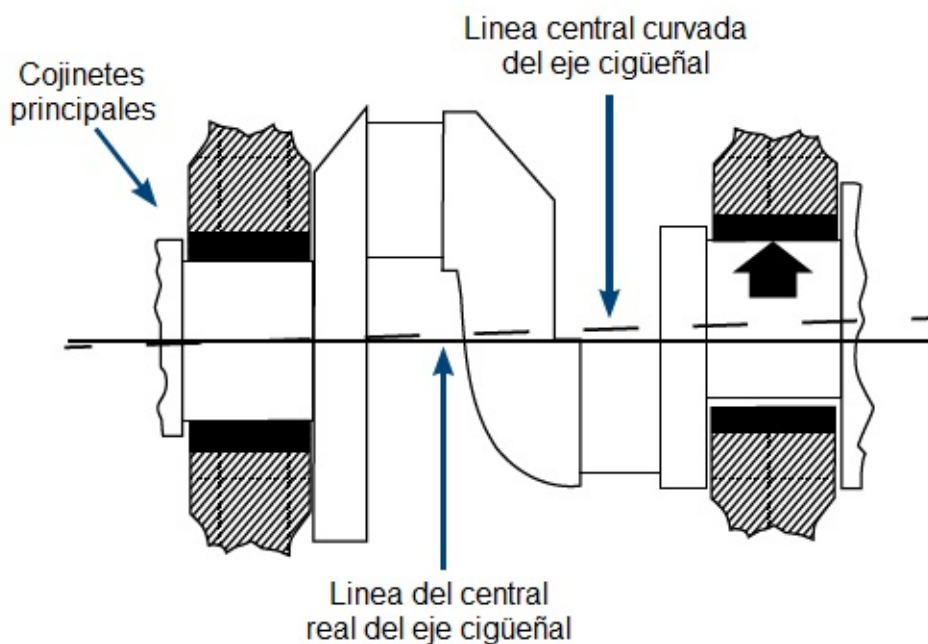


Fig. 11.3.2.2 Vista del cigüeñal pandeado.

Posibles causas: una de las causas principales de la distorsión del bloque es, cuando se alternan períodos de calentamiento y enfriamiento del motor durante su funcionamiento. A medida que el motor se calienta, el monobloque se expande y luego cuando se enfría, se contrae. Esta expansión y contracción repetitiva hace que el conjunto se distorsione a lo largo del tiempo, en algunas situaciones.

La distorsión también puede ser causada por:

- Condiciones de funcionamiento extremas (por ejemplo, sobrecalentamiento y régimen reducido de marcha).
- Procedimiento de apriete incorrecto de los tornillos de la culata, en particular con válvulas a la cabeza en motores V-8.

Acciones correctoras:

- Determinar si existe distorsión mediante el uso de métodos visuales o aplicando azul Prusia y chequeando marcas.
- Alinee los agujeros del alojamiento (si es aplicable) o cambie el bloque.
- Siga el procedimiento correcto de apriete y aplique el torque especificado para los pernos de la culata.
- Instalar nuevos cojinetes.

11.4 Lubricación deficiente

11.4.1 Falta de aceite o película de aceite marginal.

Apariencia: esta falla es muy común, pero difícil de diagnosticar, sobre todo para una persona inexperta, no acostumbrada a ver fallas en los cojinetes.



Fig. 11.4.1.1 Típico brillo del pulido por insuficiencia de aceite.

La razón es la progresión que acontece, desde el rayado en fase temprana de la superficie del muñón, que traspasa la película de aceite y entra en contacto con el cojinete, hasta el fallo final que se puede producir de forma rápida, en el interior del motor. El desastre generalmente comienza en el centro del cojinete y progresa hacia los bordes exteriores.

Daño: La ausencia de una suficiente película de aceite entre el cojinete y el muñón, que permite el contacto de metal con metal.

Posibles causas:

- Muy poca holgura de la película de aceite.
- Demasiado juego del cojinete combinado con pesadas cargas.
- Cantidad, calidad y viscosidad del aceite.
- Cuestiones relativas a la presión o al suministro de aceite.
- Partes mal ensambladas que bloquean los agujeros de aceite.
- Arranque en seco, sin pre-lubricar.
- Alta presión en el interior del cilindro, que causa la reducción del espesor de la película de aceite.
- Combinación de dos o más causas.

Acciones correctivas:

- Doble chequeo de todas las mediciones tomadas durante el procedimiento de selección de los cojinetes para advertir cualquier error.
- Asegúrese de que el cojinete reemplazado es el apropiado para ese motor.
- Chequee los muñones del cigüeñal y observe si presentan daños, corrija si fuera necesario.
- Chequee dentro de lo posible, las galerías de aceite del motor, el filtro de succión de la bomba y los filtros de aceite.
- Chequee el funcionamiento de la bomba de aceite y de las válvulas de alivio de presión.
- Asegúrese que los orificios de lubricación están perfectamente alineados cuando instale o reemplace los cojinetes.
- Cerciórese de la calidad del aceite y si la viscosidad es la apropiada. Muy importante es mantener un estricto control en la purificación del aceite.
- Siempre realice una pre-lubricación antes de arrancar el motor.
- Instale los nuevos cojinetes siguiendo los procedimientos de limpieza apropiados.

11.5 Sobrecarga

11.5.1 Fatiga del revestimiento

Apariencia: Toda o la mayor parte de la superficie del cojinete, cubierta por una red de finas grietas y limitadas en profundidad a sólo 0,0127 mm del espesor de la capa superficial. A menudo, la apariencia es peor que el problema real.



Fig. 11.5.1.1 Deterioro del 75% de la superficie total del revestimiento.

Daño: La fatiga del revestimiento.

Una vez que se forman las finas grietas, el material de recubrimiento restante fluirá para intentar rellenar las grietas y aliviar la concentración de carga.

Si toda o gran parte de la superficie del cojinete muestra esta condición, es una indicación de sobrecarga, posiblemente debido a grandes presiones en el interior del cilindro o al uso de un cojinete estándar en una aplicación de alto rendimiento.

No siempre es un indicio de sobrecarga, ya que puede darse el caso que el cojinete haya llegado al final de su vida útil y por tanto, es natural notar esta apariencia.

Posible causa: la sobrecarga. Los materiales de revestimiento "Babbitt" están destinados a proporcionar una superficie resistente, reducir la fricción, acomodar ligeras desalineaciones y absorber partículas extrañas, aunque no tienen mucha resistencia a la fatiga, y un motor muy cargado puede hacer suficiente flexión sobre la biela, conduciendo a la fatiga del revestimiento y causar fracturas en la superficie.

Acción correctiva:

- Si la vida de servicio del viejo cojinete era la correcta, sustituir con el mismo tipo de cojinete para obtener una prestación similar.
- Si el servicio del cojinete dañado era demasiado corto, reemplace con cojinetes de mejores prestaciones, para obtener una vida útil más larga.

Reemplace todos los demás cojinetes (principales, de biela y del árbol de levas) si sabe que su vida de servicio restante puede ser corta.

11.6 Corrosión

Apariencia: superficie del cojinete escurecida y de textura esponjosa, grabado por ataque químico.



Fig. 11.6.1 Muestra los daños por corrosión en el cojinete.

Daño: Este suele ser el resultado de la contaminación del aceite, ya sea del sistema de combustible o fugas internas del motor. Esta condición es aún más pronunciada cuando hay un mal mantenimiento rutinario.

Posibles causas:

- Presencia de ácidos en el aceite.
- Operar el motor con exceso de temperatura.
- Pase de gases de combustión al cárter del motor.
- Contaminación del aceite con refrigerante.
- El uso de combustibles con alto contenido de azufre.
- Excesivo intervalo de cambio de aceite.
- Combinación de algunas de las anteriores.

Acciones correctoras:

- Identificar y corregir el origen de la contaminación.
- Instalar nuevos cojinetes utilizando procedimientos de instalación correctos.
- Usar un combustible de mejor calidad, si es posible.
- El aceite debe cambiarse a los intervalos marcados por el fabricante y utilizar el grado apropiado y calificación.
- En algunas aplicaciones puede ser necesario el análisis de aceite para determinar los intervalos óptimos de cambio del aceite.

12 LUBRICACIÓN DE LOS COJINETES DE FRICCIÓN.

Hablar de la lubricación en los motores, pudiera ser el título de un nuevo trabajo de grado, pero no hablar de ello cuando abordamos el tema de los cojinetes en los motores, sería dejar inconcluso el trabajo, ya que existe una estrecha relación entre ambos.

Por lo tanto, y aunque no hablemos sobre un tema tan extenso e interesante, si que expondremos ciertos criterios muy relacionados con los cojinetes, su lubricación, la fricción y el desgaste, nos referimos a la tribología.

Tribología: es la ciencia y tecnología de los sistemas en movimiento y en contacto mutuo. Comprende la fricción, lubricación, desgaste y otros aspectos relacionados con la ingeniería, física, química, metalurgia, fisiología, etc. Es por tanto una ciencia interdisciplinar.

12.1 La Fricción.

Antes de hablar sobre el funcionamiento de los lubricantes es necesario hablar de la fricción. Cuando una superficie se desliza sobre otra, siempre hay resistencia al movimiento.

Esta fuerza de resistencia, o fricción, depende de la naturaleza de las dos superficies en contacto. Cuando la fricción es pequeña, el movimiento es suave y fácil. Cuando la fricción es grande, las superficies se calientan y sufren desgaste.

Esta fricción es el resultado de la rugosidad de las superficies. Bajo microscopio electrónico, aún las superficies aparentemente más lisas, muestran muchas rugosidades o asperezas.

Dos superficies que aparentan estar en contacto total, realmente se están tocando una con la otra en los picos de sus asperezas. Toda carga es por lo tanto soportada solamente en unos pequeños puntos y la presión sobre estos es enorme.

Existen varios tipos de rozamiento. Si las dos superficies en contacto se separan por la interposición permanente de una sustancia lubricante, el rozamiento será de tipo “fluido o húmedo”, mientras que si no existe ninguna sustancia intermedia, se está en el caso de “rozamiento sólido o seco”.

Sabemos que las resistencias pasivas debidas al rozamiento tienen dos orígenes:

- Rugosidades de las superficies de los cuerpos en contacto.
- Atracciones producidas por las afinidades moleculares que se manifiestan superficialmente.

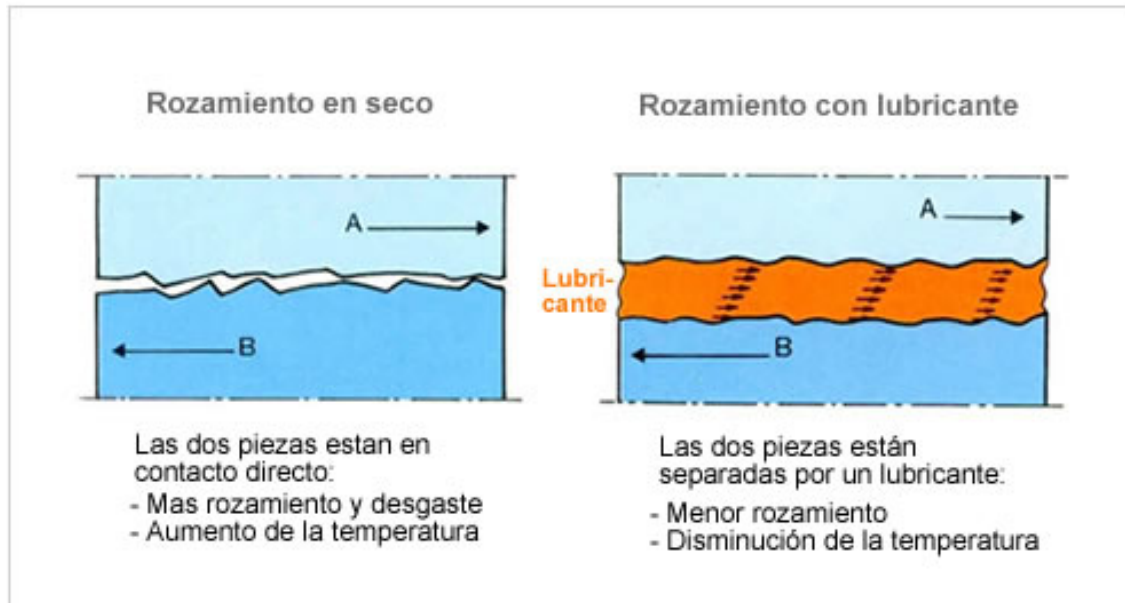


Fig. 12.1.1 Ilustración del rozamiento seco y húmedo.

Para minimizar el rozamiento debido al estado superficial, se deben controlar los procesos de acabado durante la fabricación de las piezas en contacto, mientras que para evitar las atracciones moleculares, es necesario interponer entre ambas algún cuerpo cuyo rozamiento interno sustituya al directo entre los dos cuerpos.

12.2 La Lubricación.

El propósito de la lubricación o engrase es el de interponer una película de un material fácilmente cizallable entre órganos con movimiento relativo. El nombre de dicho material o sustancia, se le conoce como lubricante.

Su objetivo es reducir el rozamiento, el desgaste y el recalentamiento de las superficies de piezas en movimiento que se hallan en contacto directo.

12.2.1 Funciones de los aceites lubricantes.

A continuación se expone las cuatro principales funciones de los aceites lubricantes:

- Proteger contra el desgaste, la corrosión y oxidación.
- Contribuir a la estanqueidad.
- Contribuir a la refrigeración.
- Facilitar la evacuación de impurezas.

12.2.2 Tipos de lubricación.

Se pueden distinguir de manera general, cinco tipos de condiciones de lubricación:

1. Lubricación Hidrostática: se obtiene introduciendo el lubricante que a veces es aire o agua, en el área de soporte de carga a una presión suficientemente alta para separar las superficies con una película de

lubricante relativamente gruesa. Por tanto, contraria a la lubricación hidrodinámica, esta clase de lubricación no requiere movimiento de una superficie en relación con la otra.

2. Lubricación Hidrodinámica: las superficies de soporte de carga del cojinete se encuentran separadas por una película de lubricación relativamente gruesa, para prevenir el contacto de metal con metal. La lubricación hidrodinámica no depende de la introducción del lubricante a presión, aunque puede ocurrir; pero requiere la existencia de un suministro adecuado todo el tiempo. También se llama de película completa o fluida.
3. Lubricación Elastohidrodinámica: es el fenómeno que ocurre cuando se introduce un lubricante entre las superficies en contacto rodante, como en los engranes acoplados, en cojinetes de rodamiento o entre una leva y su seguidor. La carga crea una huella de contacto causada por las deflexiones elásticas de la superficie y esta huella puede hacer que se cree una superficie plana suficientemente grande como para permitir la formación de una película totalmente hidrodinámica, siempre que la velocidad relativa de deslizamiento sea lo suficientemente elevada.
4. Lubricación Marginal: se refiere a situaciones en las cuales un área de contacto insuficiente, una caída en la velocidad de la superficie móvil, una reducción en la cantidad de lubricante suministrado al cojinete, un incremento en la carga del cojinete o un aumento en la temperatura del lubricante, provoca disminución de la viscosidad y evitan la acumulación de una película suficientemente gruesa para impedir el contacto metal a metal. La lubricación marginal es la situación menos deseable porque permite que entren en contacto las asperezas superficiales y se desgasten con rapidez.
5. Lubricación con material sólido: se usa cuando los cojinetes tienen que trabajar a temperaturas extremas. El material utilizado como lubricante de película sólida es el grafito o el disulfuro de molibdeno. Es el caso de los ejes de máquinas antiguas.

12.2.3 Influencia de la temperatura.

El control de temperatura es una función importante de los aceites lubricantes. Sus propiedades físicas tienen un efecto relativamente pequeño sobre su capacidad de proporcionar un enfriamiento adecuado. Una eficiente circulación del lubricante, por otra parte, es el factor más importante para controlar temperatura.

El calor en una máquina se genera por fricción entre las partes en movimiento. En condiciones de lubricación hidrodinámica, el calor generado por la fricción es bajo. En lubricación límite, el aumento de temperatura es mucho mayor, y cuando el contacto metal con metal ocurre, se generan grandes cantidades de calor y las temperaturas de las superficies en contacto pueden alcanzar valores próximos al punto de fusión del metal.

Para un control adecuado de temperatura es muy importante la eficiencia del sistema para disipar calor y en un menor grado, la habilidad del aceite para absorber y transmitir calor. Una máquina lubricada puede perder calor por radiación hacia el ambiente o por conducción a superficies más frías.

El aceite juega un papel muy importante en este proceso de absorber el calor en las áreas de enfriamiento. Esto implica la necesidad de una recirculación constante del aceite, a través del sistema de lubricación de la máquina. Comparados con el agua, los aceites lubricantes son malos transmisores de calor; su habilidad para absorber calor es alrededor del 35% al 50% de la capacidad del agua.

Esto significa que para controlar temperatura con la misma eficiencia que el agua, se requeriría un flujo de aceite tres veces mayor que el de agua. Estas propiedades térmicas favorables del agua explican su uso en forma de emulsión de aceites para corte de metales.

La efectividad en el control de la temperatura depende de la cantidad del lubricante recirculado, de la temperatura ambiental y de la provisión de enfriamiento externo. Los elementos inferiores de un motor (cigüeñal, cojinetes, pistones, etc.), el enfriamiento depende casi enteramente del aceite.

Todas estas partes tienen temperaturas críticas que no se deben exceder, en especial en los cojinetes. Vale la pena destacar que mientras se requieren pequeñas cantidades de aceite para alcanzar una lubricación eficiente, se necesita muchos litros por minuto de aceite, para proporcionar un enfriamiento adecuado.

12.3 La lubricación en los motores diésel.

La lubricación de las piezas móviles, es crucial para el rendimiento del motor diésel y la longevidad de éste. El aceite lubricante reduce la fricción entre los componentes, separa las superficies opuestas y evita el contacto metal con metal.

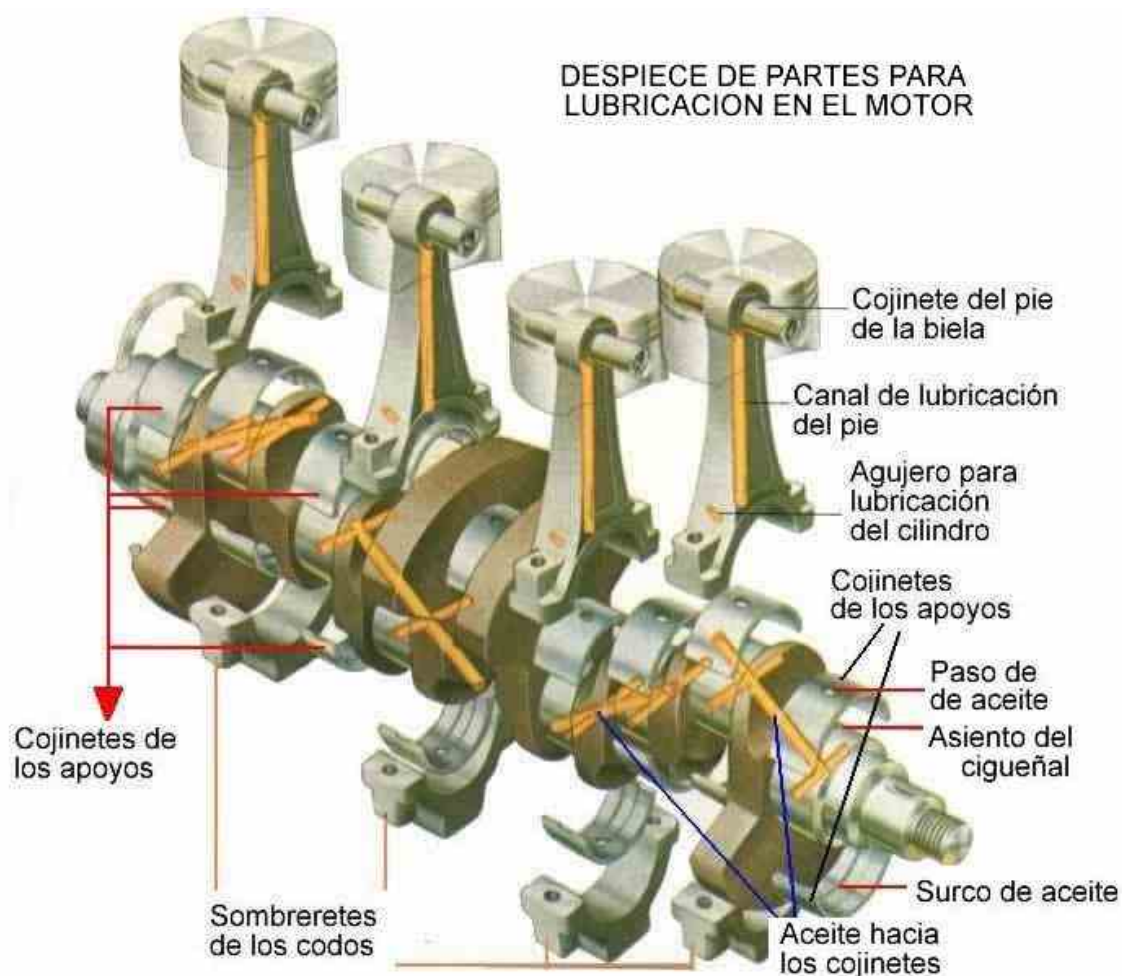


Fig. 12.3.1 Representación de la lubricación del cigüeñal, biela y pistón.

También actúa como un refrigerante y mitiga el efecto de la corrosión. Sin embargo, el estado del aceite tiende a deteriorarse con el uso, principalmente debido a la contaminación y la actividad química.

El manual del fabricante del motor, proporciona información sobre la calidad y las propiedades requeridas del aceite de lubricación, también incluye una guía de cómo debe ser el mantenimiento y el control de dicho aceite, para garantizar que siga siendo adecuado mientras está operativo.

Dicho asesoramiento se basa generalmente en los resultados de investigaciones, la experiencia operativa, los análisis de comportamiento y otros factores incluyendo técnicas de sentido común.

Los fabricantes también incluirán un margen de error, para minimizar el riesgo de que el motor sea dañado a medida que se deteriora el aceite lubricante, pero no es posible para el usuario determinar con algún grado de confianza, si el resultado de exceder los límites establecidos por el fabricante del motor será relativamente inofensivo o potencialmente desastroso.

Aunque el manual del motor contiene información importante sobre el aceite lubricante y especifica los requisitos claves y las limitaciones, los principios fundamentales rara vez se diferencian entre uno u otro:

- La viscosidad del aceite lubricante debe permanecer dentro de ciertos límites prescritos. Normalmente, la viscosidad del aceite aumenta durante la operación. Si disminuye, esto puede significar un ingreso de combustible de baja viscosidad. El aumento o la disminución de la viscosidad puede dar lugar a una lubricación inadecuada.
- El aceite no debe contener cantidades excesivas de agua o de partículas extrañas insolubles, ya que sus efectos se vuelven cada vez más perjudiciales durante la operación, y el resultado es una mala lubricación y daños mecánicos.
- El aceite debe ser capaz de proteger los componentes del motor de la corrosión causada por la agresividad química. La capacidad del aceite para neutralizar los compuestos ácidos, generalmente disminuye con el uso, la corrosión ácida se puede producir si el TBN es inferior al umbral especificado por el fabricante del aceite lubricante, lo que resulta en el desgaste excesivo y la reducción de la vida útil de las piezas.
- El punto de inflamación del aceite lubricante debe permanecer dentro del rango establecido por el fabricante. Un punto de inflamación inferior al especificado, puede significar la presencia de hidrocarburos más ligeros, lo que posiblemente indica que el aceite se ha contaminado con combustible diésel.

La viscosidad, el punto de inflamación y el TBN del aceite lubricante sólo pueden restaurarse mediante un cambio completo o parcial del aceite.

12.3.1 Lubricación de los cojinetes de fricción.

La lubricación de un cojinete se produce por la formación de una película o capa de lubricante, que actúa entre la superficie del cojinete y el muñón. La presión que se desarrolla en esta capa, tiene que hacer flotar el eje sobre el cojinete.

Atendiendo a cómo se produce la lubricación existe la siguiente clasificación de cojinetes de fricción:

- Cojinete hidrostático: estos tipos de cojinete realizan su función mediante la inyección externa de lubricante. Estos cojinetes aseguran que la película de lubricante esté formada permanentemente, incluso en los periodos de arranque. Sus desventajas principales son que el fallo en el suministro de lubricante pone en peligro a la instalación y que son de coste elevado.
- Cojinete hidrodinámico: estos tipos de cojinetes no requieren de la inyección externa de lubricante sino que son las partes en movimiento las que crean un efecto hidrodinámico que hace que el aceite lubrique

las partes en contacto. Estos cojinetes funcionan por sí solos y no necesitan de un suministro externo de aceite a presión. Su utilización es crítica en máquinas con alto par de arranque.

- Cojinetes auto-lubricados: están fabricados con materiales porosos que al impregnarse de aceite lo absorben y lo distribuyen lentamente por las partes en movimiento de la máquina.
- Cojinetes de fricción seca: son cojinetes que no requieren lubricación por estar fabricados con materiales muy blandos que reducen mucho el coeficiente de fricción. Estos cojinetes se utilizan en equipos “oil free” en los que no puede utilizarse lubricante. El material más utilizado para la fabricación de estos cojinetes es el Teflón.

Si el cojinete se ha fabricado correctamente, y si funciona en condiciones ideales, la película continua de aceite separa siempre las dos superficies metálicas, evitando el contacto.

Cuando el cojinete no trabaja en las condiciones óptimas, la película de aceite lubricante se rompe localmente o completamente, y da como resultado zonas de fricción de metal con metal, afectando a las superficies de los dos componentes en contacto y provocando el gripaje.

12.3.2 Formación de la película.

Si se consigue mantener continuamente separados el muñón y el cojinete por medio de una capa de lubricante evitando todo contacto sólido entre superficies de deslizamiento, entonces el material del que están formados no influye en nada sobre dicha calidad.

Sin embargo, el rozamiento fluido depende de unas condiciones de velocidad, carga y temperatura. De esta manera, para las velocidades bajas (arranque y parada), los cojinetes giran en sentido de rozamiento mixto, cuando no seco, haciendo inevitable el contacto directo entre las dos superficies.

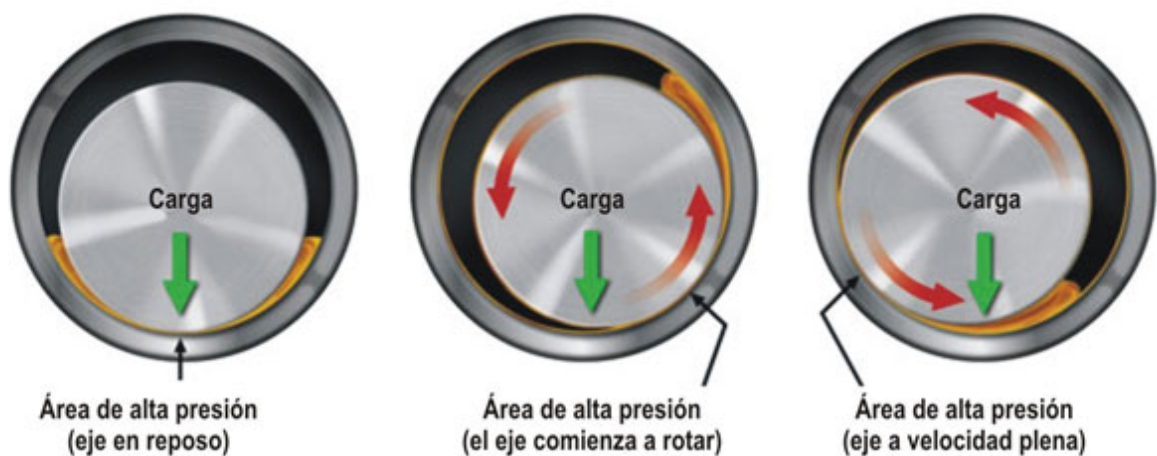


Fig. 12.3.2.1. Se muestra las condiciones de lubricación para diferentes velocidades del eje cigüeñal.

En la fig. 12.3.2.1 comenzando por la izquierda de la imagen, se produce la lubricación hidrostática en el momento del arranque, el aceite se introduce a presión para elevar el eje cigüeñal. En el centro vemos lo que llamamos lubricación límite, la capa de lubricante es muy pequeña y esta situación se da sobre todo durante el arranque y la parada del motor. Y en la extrema derecha ya se produce la lubricación hidrodinámica, el lubricante se introduce entre las superficies por el propio movimiento del rotor, que crea un gradiente de presión, creando la película donde se suspende el eje.

13 CONCLUSIONES

Tomando en consideración el efecto económico que suponen las fallas prematuras en los cojinetes de fricción y la importancia que revisten para mantener en funcionamiento los motores de combustión interna, debemos profundizar aún más en el conocimiento de estos elementos.

Los cojinetes nos revelan mucha información acerca de su interacción con los elementos del motor, el lubricante, las condiciones de operación y sobre todo, el historial de la máquina.

Por lo tanto, este trabajo establece unas bases que podrán ser tomadas como patrones para comprender y tomar decisiones respecto a cualquier anomalía detectada en los cojinetes de fricción.

Como resultado de la investigación desarrollada, exponemos de manera concreta una síntesis de lo que resume esta experiencia:

1. La importancia de conocer las funciones y características para lo que están diseñados los cojinetes de fricción.
2. Conocer los factores que conllevan al desgaste prematuro para prevenirlos.
3. Aplicar los protocolos de actuación para el montaje, limpieza y ensamblaje de los componentes.
4. Identificar los daños, las causas que lo ocasionaron y las correcciones que debemos aplicar.
5. Como realizar un diagnóstico certero a partir de la observación visual de la superficie del metal y determinar si están aptos para continuar o deben ser reemplazados.

Con la creencia de que el presente trabajo, será de gran ayuda para los que operamos las máquinas, considero haber satisfecho los objetivos con los que comencé este proyecto.

Además, consideramos que el beneficio fundamental de la investigación, puede estar encaminado a los alumnos de máquinas, que deberán prepararse para un futuro cada vez más competitivo y donde los conocimientos pueden marcar la diferencia.

14 BIBLIOGRAFÍA

Georgina Comas, Talleres Mecánicos Comas 04/01/2011. Interempresas.net. http://www.interempresas.net/Componentes_Mecanicos/Articulos/46726-Cojinetes-de-metal-antifriccion.html

Kopeliovich, Dmitri. Engine bearing, modified 21/11/2015. Substech. http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=engine_bearings

Cameron Lawrence, Lisa Bethell and Matt Boylan. *Bearing Specialists Association*. 2014.

http://www.bsahome.org/tools/pdfs/History_of_Bearings_web.pdf (último acceso: 2015).

Carley, Larry. *Engine Builder*. 2015.

<http://www.enginebuildermag.com/2015/12/engine-bearings-under-pressure/>.

Castaño, Miguel Espitia. *SlideShare*. 15 de Septiembre de 2013.

<http://es.slideshare.net/miguelespitiacastano/cojinetes-de-friccion> (último acceso: 2016).

«Diesel Engine Repair.» De John F Dagel, 586. Wiley, 1982.

Kopeliovich, Dmitri. *PDF. Camshaft Bearing*. March de 2015.

<http://www.kingbearings.com/wp-content/uploads/2015/03/Camshaft-Bearings.pdf> (último acceso: 2016).

LC, Edwin. *Scridb*. <https://es.scribd.com/doc/167394936/METAL-ANTIFRICCION-BABBIT-docx#download>.

MC, Gould. «Manual de referencia para mecanicos.» Publicaciones SENA, Bogota, 1963.

MotorGiga. 10 de Octubre de 2010.

<http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/cojinete-de-friccion-definicion-significado/gmx-niv15-con193604.htm>.

Soto, Enrique. *Gigma, Ferreyros S.A.A*. 2005.

file:///C:/Users/Frank/Downloads/myslide.es_afa-mod-06-cojinetes-de-motor-fundamentos.pdf.

The free dictionary by Farlex. 2007. <http://es.thefreedictionary.com/desportillar>. Larousse Editorial, S.L.