



**República de Cuba
Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"
Departamento de Metalurgia Electromecánica**

Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Mecánico

Título: Diseño de un sistema de rodamientos a partir de los problemas asociados al fallo por rotura y desgaste en la transmisión del motor 2AM3-1000 en la planta de simple contacto de la empresa comandante Pedro Sotto Alba.

Autor: Yobani Blanco Cerulia

Tutores: Ms.C: Tomás Fernández Columbié

Ms.C: Isnel Rodríguez González

Ing: Dayanis Alcántara Borges

Moa /2010

"Año 52 de la Revolución"



Declaración de Autoridad:

Yo: Yobani Blanco Cerulia.

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Nuñez Jiménez, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Yobani Blanco Cerulia

Ing. Dayanis Alcántara Borges

MsC. Tomás Fernández. Columbié

MsC. Isnel Rodríguez González



Pensamiento:

***“El futuro de esta revolución es un futuro de
hombres de ciencia.”***

Fidel Castro Ruz.



Dedicatoria:

Dedico este trabajo a la obra de la Revolución Cubana que ha hecho posible que miles de jóvenes como yo haya tenido la oportunidad de formarse como profesionales en el más esencial sentido del humanismo.

A mis padres Ramón y Melba, que han sido baluartes inspiradores en mi formación como profesional y han luchado a mi lado todo este tiempo ayudándome para alcanzar el éxito

A mis amistades y familiares que con su ayuda me alentaron a continuar mis estudios.



Agradecimientos:

A todos mis profesores por los conocimientos transmitidos durante el desempeño de mi carrera.

A mis tutores por confiar en mí en la realización de este trabajo, la Ing. Dayanis Alcántara Borges, a los MsC Tomás Fernández Columbié e Isnel Rodríguez González.

A mis familiares que me apoyaron en los momentos de mi vida en que más lo necesitaba.

A mis amigos que siempre creyeron en mí.

A los que de una forma u otra me apoyaron y ayudaron en la realización de este trabajo.

A la revolución, por darme la oportunidad de convertirme en profesional .

A todos

Muchas Gracias.



Resumen

Este trabajo tiene como objetivo realizar los cálculos de diseño en la transmisión del motor 2AM3 – 1000, de la planta de ácido de simple contacto. Se valoró el sistema de transmisión actual que se realiza con cojinetes de contacto plano, pudiéndose sustituir por cojinetes de contacto rodante. Para dar cumplimiento al objetivo propuesto se propuso una metodología de cálculo, con la cual se valoró las condiciones de resistencia del árbol en las condiciones actuales de trabajo, asumiendo también el sistema de lubricación como elemento fundamental en la disminución del desgaste en esta transmisión.

Se analiza el comportamiento microestructural del árbol, el cual producto del incremento del momento torsor por el desgaste y desalineamiento del cojinete falla.

Por último se realiza la valoración económica teniendo en cuenta el costo del rodamiento y el efecto negativo de la planta productora en el medio ambiente.



Abstract

This work has as objective to carry out the design calculations in the transmission of the motor 2AM3 - 1000, of the plant of acid of simple contact. The system of current transmission was valued that is carried out with bearings of contact plane, being able to substitute for bearings of rolling contact. To give execution to the proposed objective it intended a calculation methodology, with which was valued the conditions of resistance of the tree under the working current conditions, also assuming the system of lubrication like fundamental element in the decrease of the waste in this transmission.

The behavior microstructure of the tree is analyzed, which product of the increment of the torque for the waste and bad alignment of the bearing breaks.

Lastly it is carried out the economic valuation keeping in mind the cost of the bearing and the negative effect of the plant producer in the environment.



Indice

No.	Epígrafe	Págs.
	Introducción	1
	Capítulo I	
1.1	Introducción	4
1.2	Estado del arte referente al desgaste	4
1.2.1	Medidas para combatir el desgaste	11
1.2.2	Desgaste por fatiga	11
1.2.3	Causas y mecanismo del desgaste por fatiga	12
1.2.4	Proceso de metalizado por llama	12
1.3	Generalidades de los rodamientos	13
1.3.1	Deterioros en cojinetes de deslizamiento. Criterios de comprobación	14
1.3.2	Cojinetes radiales en lubricación semi- límite	15
1.4	Diseño en ingeniería mecánica	16
1.4.1	Consideraciones o factores de diseño	16
1.5	Evaluación del material	17
1.6	Clasificación de los motores de inducción de jaula de ardillas de acuerdo con el enfriamiento y el ambiente de trabajo	18
1.6.1	Motores de inducción de jaula de Ardilla clase A	19
1.6.2	Motores de inducción de jaula de ardilla clase B	19
1.6.3	Motores de inducción de jaula de ardilla clase C	20
1.6.4	Motores de inducción de jaula de ardilla clase D	20
1.6.5	Motores de inducción de jaula de ardilla clase F	20
1.7	Flujo tecnológico de la planta de ácido sulfúrico de simple contacto	21
1.6	Conclusiones	25
	Capítulo II	
2.1	Introducción	21
2.2	Herramientas empleadas	26
2.3	Caracterización del motor 2AM3-1000	27



No.	Epígrafe	Págs.
	Capítulo II	
2.4	Distancia entre los rodamientos	27
2.5	Particularidades del diseño de rodamientos Metodología de cálculo para la selección de los rodamientos	27
2.5.1	Cálculo del Momento flector	28
2.5.2	Cálculo del Momento torsor	28
2.5.3	Metodología para la selección y montaje de rodamientos	30
2.5.4	Cálculo de la longevidad teórica	30
2.5.5	Determinación de la longevidad en horas	30
2.6	Comprobación a la resistencia del árbol	30
2.6.1	Determinación del diámetro de salida	30
2.6.2	Cálculo del momento equivalente	31
2.6.3	Determinación del diámetro de la sección peligrosa	31
2.7	Selección del lubricante que debe ser aplicado	31
2.7.1	Factor de velocidad	31
2.7.2	Determinación de la viscosidad requerida	32
2.8	Preparación metalográfica de las probetas	32
2.8.1	Análisis para la preparación metalográfico de las probetas	32
2.8.2	Selección de la muestra	33
2.8.3	Corte de la probeta	34
2.8.3.1	Montaje de la probeta	34
2.8.4	Desbaste	34
2.8.5	Pulido	35
2.8.6	Ataque	35



No.	Epígrafe	Págs.
	Capítulo II	
2.8.7	Elaboración mecánica de las probetas	36
	Conclusiones del Capítulo II	37
	Capítulo III ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
3.1	Introducción	38
3.2	Análisis del sistema de diseño del conjunto de rodamientos del motor asincrónico 2AM3-1000	38
3.2.1	Análisis del cálculo del momento flector	38
3.2.2	Cálculo del momento torsor	39
3.2.3	Cálculo de las fuerzas resultantes	39
3.3	Determinación de las componentes axiales de las reacciones	39
3.3.1	Cálculo de longevidad teórica	39
3.3.2	Cálculo de la longevidad en horas	39
3.4	Cálculo del diámetro de salida del árbol	40
3.4.1	Cálculo del momento equivalente	40
3.4.2	Determinación del diámetro de la sección peligrosa	40
3.5	Obtención del factor de velocidad	40
3.6	Cálculo de la viscosidad requerida	40
3.7	Observación con microscopía óptica	41
3.7.1	Prueba de dureza	42
3.8	Examen metalográfico	43
3.9	Valoración económica	44
3.10	Impacto ambiental	45
	Conclusiones del Capítulo III	47
	Conclusiones generales	48
	Recomendaciones	49
	Bibliografía	50
	Anexos	52



INTRODUCCIÓN

La industria del níquel es de gran importancia para la economía cubana debido a su aporte de divisas a la nación. Por lo cual hoy en día constituye algo primordial el desarrollo de tecnologías que permitan más ahorro de recursos, menos gasto de energía y menos contaminación atmosférica. El incremento de la eficiencia con el uso racional de los recursos que poseemos nos lleva a la búsqueda de productos más competitivos, para sustituir viejos y costosos esquemas tecnológicos.

Más del 80 % de los elementos de máquinas que se sustituyen se deben al desgaste y alrededor del 30 % de la energía mecánica que se produce en el mundo se gasta en vencer la fricción innecesaria en los sistemas tribológicos; aspectos que por lo general no se consideran durante la proyección, fabricación y explotación de los elementos de máquinas.

Los diferentes elementos de máquinas son de antigua existencia sin embargo los cálculos de ingeniería en la mayoría de los casos no se basan en criterios tribotécnicos. La no consideración de los aspectos tribológicos durante los mencionados procesos lleva a la obtención de sistemas mecánicos caracterizados por: considerables pérdidas de energía; alto consumo de materiales y materias primas; lo que es lo mismo a máquinas de baja eficiencia, productividad, durabilidad y fiabilidad.

Hasta muy recientemente, en gran parte debido a razones económicas y de abundancia de los materiales, las características mecánicas de los materiales eran relativamente bajas y la atención a las demandas ingenieriles de resistencia al fallo se resolvían por el expedito procedimiento de aumentar su sección útil.

Además de la resistencia a la corrosión son muchas más las propiedades de los materiales que dependen de la superficie, tales como la resistencia a la fatiga, la resistencia al desgaste, las características de rozamiento entre las partes móviles.



Los cojinetes de deslizamiento son un caso específico donde se presenta el problema del desgaste. En el par árbol - chumacera del motor 2AM3 - 1000 ubicado en la empresa Cmdte "Pedro Sotto Alba", en la planta de ácido sulfúrico de simple contacto, se presentan serias dificultades con la vida útil de estas piezas. Para darle solución se han aplicado varios cambios entre los que se incluyen el empleo de recubrimiento de material con Babbit de plomo a través de llama oxiacetilénica, después se realiza el acabado por el proceso de maquinado; sin embargo persiste el desgaste y aún no se ha hallado la solución que resuelva este problema, el cual es común a pares de deslizamiento lubricados en otras aplicaciones.

La **Situación Problemática** de la investigación la constituye: La búsqueda de las formas y métodos más racionales de estímulo económico del progreso científico técnico constituye uno de los problemas actuales de la ciencia económica y de la actividad práctica de la empresa. El desgaste progresivo en el par tribológico eje-chumacera del motor 2AM3-1000, el cual por el trabajo sistemático queda fuera de servicio de forma prematura por la carga que ejerce el eje sobre la superficie metalizada, esto provoca desgaste en la chumacera.

El **Problema** a investigar lo constituye: Excesivo desgaste en el par árbol - chumacera del motor 2AM3-1000 ubicado en la empresa Cmdte "Pedro Sotto Alba", en la planta de ácido sulfúrico de simple contacto.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis**:

Realizando la sustitución de los rodamientos de contacto plano por cojinetes radiales axiales de la transmisión del motor 2AM3-1000 perteneciente a la planta de ácido sulfúrico de simple contacto, así como el análisis microestructural del árbol, se podrá ganar en tiempo producto de las reparaciones que se eliminan y el comportamiento de la falla.

Como **Objeto de la investigación** se establece: Desgaste y rotura en el par árbol-chumacera del motor 2AM3-1000



A partir de la hipótesis planteada, se define como **Objetivo del trabajo:** Realizar el diseño del sistema de rodamiento del motor 2AM3 - 1000 ubicado en la empresa Cmdte "Pedro Sotto Alba", en la planta de ácido sulfúrico de simple contacto.

Y se definen los siguientes **Objetivos Específicos:**

1. Determinar el comportamiento actual del sistema de rodamiento del motor 2AM3-1000
2. Caracterizar el funcionamiento del par tribológico árbol - chumacera el motor 2AM3-1000
3. Determinar el régimen de trabajo del motor 2AM3 - 1000

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantean las siguientes **tareas de trabajo:**

1. Establecimiento del estado del arte y sistematización de los conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Realizar los cálculos que permitan el diseño correcto de otro tipo de rodamiento en el motor 2AM3-1000.
3. Realizar búsqueda bibliográfica.
4. Realizar una correcta selección de las probetas.
5. Análisis de los resultados y fundamentación de los cálculos del diseño que permitan la selección adecuada del tipo de rodamiento.
6. Determinación del tipo de lubricante.



CAPITULO I MARCO TEÓRICO. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1 Introducción

El análisis y prevención de fallas de componentes metálicos es un aspecto extremadamente importante en la ingeniería de materiales. La determinación y descripción de los factores responsables para la falla de un componente, mecanismo o estructura, brindan una valiosa información para mejorar tanto el diseño, los procedimientos operativos y el uso de los componentes; como para evitar paradas de línea o pérdidas de producción en la industria.

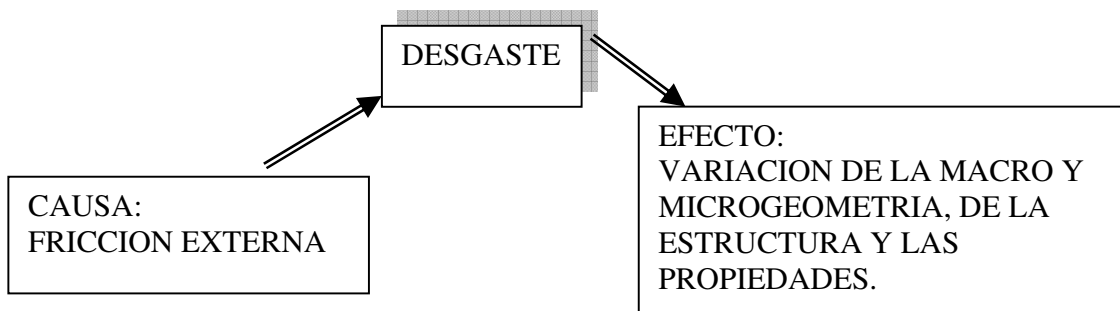
Adicionalmente, el reconocimiento de dichos factores permite establecer responsabilidades en litigios de toda índole originados en fallas de materiales. Una vez que el modo de falla ha sido identificado, son posibles de aplicar las medidas correctivas para la prevención de fallas similares futuras, minimizando costos y riesgos de accidentes.

Objetivo del capítulo

Establecer el estado actual del desgaste en cojinetes de contacto plano, así como las características fundamentales del diseño en rodamientos.

1.2. Estado del arte referente al desgaste

El desgaste es un proceso complejo que se produce en las superficies de los cuerpos debido a la fricción de otro cuerpo o medio, trayendo por consecuencia la variación de la micro y macro geometría superficial; de la estructura y de las propiedades mecánica - físicas del material con o sin pérdida de material.





Tipos de desgaste

Uno de los problemas no resuelto en la temática del desgaste es la designación y clasificación del desgaste en las superficies de los cuerpos sólidos; por tal motivo en este epígrafe se dan los conceptos más utilizados.

- ✓ Desgaste adhesivo.- También llamado desgaste por fricción o deslizante, se produce debido a la adhesión molecular entre los cuerpos en contacto.
- ✓ Desgaste por fatiga. Desgaste debido a causas mecánicas producto de tensiones variables y repetidas.
- ✓ Desgaste abrasivo.- Desgaste mecánico como resultado de la acción de corte o rayado de asperezas de alta dureza o de partículas abrasivas.
- ✓ Desgaste mecánico - corrosivo - desgaste mecánico acelerado por la acción corrosiva del medio.

Además de los tipos antes mencionados también se incluye con frecuencia los siguientes tipos: desgaste erosivo; oxidación - dinámica (fretting); cavitación.

La importancia de cada tipo de desgaste en la industria según Eyre es la siguiente.

- ✓ Abrasivo 50 %
- ✓ Adhesivo..... 15 %
- ✓ Erosivo 8 %
- ✓ Mecánica - corrosivo..... 5 %
- ✓ Oxidación dinámica 8 %
- ✓ Fatiga y otros 14 %

Es necesario aclarar que en la práctica existen dos o más tipo de desgaste y que en determinados momentos un tipo se transforma en otro.

En la definición del tipo de desgaste y su magnitud inciden una serie de factores que se pueden agrupar de la siguiente forma:

a) Condiciones de explotación o de operación: carga aplicada; velocidad; temperatura; tipos de movimiento; tipo de fricción; recorrido de fricción; tiempo de trabajo.

b) Características de los cuerpos en contacto: Materiales; composición química; dureza; dimensiones y forma; microgeometría superficial; microestructura.



c) Características del medio: Humedad; atmósfera corrosiva; presencia de partículas abrasivas; propiedades de los lubricantes.

El primer y tercer grupo define el tipo de desgaste, mientras que el segundo grupo en general define la magnitud del desgaste. Como se aprecia la identificación de un tipo de desgaste no es tarea fácil.

Los estudios sobre el desgaste se iniciaron en los años 1930 por el alemán M. Fink, definiéndose el papel positivo de la formación de una capa de óxido. El ruso N. Davidenko (1936) consideró el desgaste mecánico como resultado de dos procesos diferentes pero que se condicionan uno al otro; el proceso de "arrugado" y el proceso de "rayado". Una amplia difusión ha tenido la teoría del desgaste adhesivo desarrollada por Bowden, Tabor, Kenidger, Lancaster, Ming - Feng. Rabinowics y otros; considera la producción de soldaduras puntuales en los puntos de contacto y la transferencia de material al cizallarse la unión.

La teoría sobre el desgaste por fatiga de las asperezas superficiales ha sido desarrollada por Kragelski y sus colaboradores. En dependencia del tipo de deformación superficial al número de ciclos para la fractura de las asperezas varía en un amplio rango. La teoría energética del desgaste fue formulada en el año 1973 por G. Fleischer; se basa en la acumulación de determinada cantidad de energía interna en las asperezas. La teoría de exfoliación fue introducida por N. Suh (1973). Se basa en la aparición y nucleación de grietas en las capas superficiales, su desarrollo y la producción de partículas de desgaste.

En conclusión el desgaste es el resultado de una interacción superficial de naturaleza dual: atracción molecular en los límites de la adhesión y deformación mecánica en los límites del micro corte.

Según Escanaverino, 1993, los aspectos relacionados con la capacidad de trabajo de los sistemas tribológicos están íntimamente relacionados con la calidad superficial, caracterizada por los parámetros geométricos (macrogeometría, ondulaciones y rugosidad superficial), las propiedades físico-química que determinan la interacción de campos de fuerza de los átomos superficiales con el



campo de fuerza de las moléculas del medio exterior que se encuentran en contacto con la superficie del cuerpo sólido, las propiedades físico-mecánicas (endurecimiento, tensiones residuales, profundidad de la capa endurecida) las cuales tienen una incidencia directa en los fenómenos superficiales que se producen debido a la fricción y el desgaste.

La mejor combinación de los parámetros de calidad superficial le corresponde a aquel método de elaboración que como resultado del procedimiento físico o químico de deposición de los elementos necesarios y del tratamiento térmico final, garantice la estructura y propiedades físico – mecánicas. (Govantes, 1989)

Cuando el estado de fricción es por deslizamiento y el deterioro de las capas superficiales es debido a la fatiga superficial, la corrosión, la adhesión, la erosión o cualquier otro tipo de deterioro, la estructura y propiedades físico - mecánicas de las finas capas superficiales juegan un papel importante y de estas depende la naturaleza de las estructuras dinámicas, de los mecanismos de destrucción superficial, y de la dinámica del desgaste. (Kragelsky, 1977)

Otros autores como, Krushov, 1957, Martínez, 1981, Verdeja, 1996 consideran que uno de los métodos más efectivos y de mayores perspectivas dentro de las diferentes ramas de la tecnología de construcción de maquinaria resulta el desarrollo de tratamientos y recubrimientos superficiales los cuales dan flexibilidad en la selección del material del sustrato. Muchas de las técnicas de tratamientos y recubrimientos superficiales son aplicables muy económicamente en una amplia gama de componentes. Se habla de tratamiento superficial si se modifica la estructura superficial y/o la composición química es alterada y de recubrimiento superficial si se añade material a la superficie.

La estructura, propiedades antidesgaste y antifricción pueden ser optimizadas a partir de las exigencias establecidas para lograr la adecuada capacidad de trabajo de las superficies de fricción para definidas condiciones de desgaste, concebidas a partir de la correcta selección de los métodos de obtención del recubrimiento y de los parámetros del proceso tecnológico.



Considerando el conjunto de exigencias tribológica de las finas capas superficiales; aseguramiento de alta resistencia, dureza y resistencia a la oxidación, porosidad permisible, resistencia al agarramiento con respecto a los materiales fundamentales, baja tendencia a la adhesión; en primer lugar es necesario emplear métodos de endurecimiento superficial que permitan obtener recubrimiento de elevada resistencia al desgaste.

Los parámetros de calidad de las capas superficiales esta determinados por el tipo y características del proceso tecnológico de elaboración final. A cada método de elaboración final, ya sea mecánico, térmico, físico o cualquier otro le corresponde un determinado diapazón de variación de los parámetros que caracterizan la calidad superficial. El estado físico químico de las capas superficiales de las piezas resulta predominante en la determinación de su durabilidad. Cada grupo de procesos tecnológicos de elaboración posee sus propias características cuantitativas y cualitativas. Desde el punto de vista de durabilidad los fundamentales parámetros de las capas de elevada resistencia al desgaste son sus características mecánicas, así como de las macro y microestructuras de las capas subsuperficiales de los materiales. El efecto de cada uno de los métodos de endurecimiento superficial sobre los parámetros de calidad es totalmente diferente. (Suárez, 1983)

Durante la asignación del tipo de recubrimiento a emplear y su tecnología de obtención es necesario tomar en cuenta sus posibilidades constructivas relacionadas con su forma, dimensiones, las características de las superficies de fricción y la cinemática del sistema tribológico en su conjunto. Desde el punto de vista tecnológico resulta una tendencia la determinación de la tecnología de obtención del recubrimiento que garantice los adecuados parámetros de calidad superficial. (Caubet, 1971).

La fricción y el desgaste en cojinetes de deslizamiento

Al igual que sucede con otros elementos de máquinas, la vida útil de los cojinetes de deslizamiento se ve grandemente afectada por la fricción y el desgaste, lo cual es afirmado en sus estudios por (Vygovskii, 1967), (Tevrüz, 1999), (Leonetti, 2000) y (Rodríguez, 2003).

Plantea Moyer, 1995, que en el rendimiento de los cojinetes influyen la calidad del material, el acabado superficial y la geometría del contacto. Es muy importante



establecer la relación entre los parámetros geométricos y los materiales con la fricción, el desgaste y la lubricación en la proyección de pares tribológicos con vista a minimizar el gasto de recursos materiales e incrementar la vida útil de los mismos.

Prasad, 1997, realiza un estudio sobre el comportamiento de diversos factores en cojinetes de deslizamiento, llegando a los siguientes resultados: La capacidad de carga (C_p) disminuye con el aumento de la elasticidad de líquido (α); el factor de sostén (C_c) aumenta con el decremento de la elasticidad del líquido (α); en la medida que la elasticidad del líquido (α) aumenta disminuye el factor de fricción (C_f) y con el aumento de la elasticidad del líquido (α) aumenta el coeficiente de fricción.

Smart, 1979, presenta un estudio para el empleo de los diferentes tipos de materiales para el desgaste tanto abrasivo como adhesivo o fatiga donde se aprecia que el empleo del molibdeno, el cromo y el cobalto en aleaciones puede mejorar la resistencia al desgaste. Sin embargo, resulta interesante que al seleccionar un sistema aleante, para que conduzca a la obtención de resultados favorables en la vida útil de los cojinetes, es imprescindible tener en cuenta no afectar los costos de producción.

Orlov, 1985 ofrece un capítulo de su libro al diseño y análisis de la problemática de los cojinetes de deslizamiento, donde plantea las dificultades más comunes en los cojinetes de deslizamiento, entre las que se destacan: El recalentamiento, el desgaste excesivo, resquebrajamiento del material, suministro incorrecto del lubricante, elección incorrecta de materiales, macro y micro geometría incorrecta de las superficies, dureza insuficiente y oxidación del lubricante.

Cooper, 1991 en su estudio acerca del control del desgaste en cojinetes plantea que en un cojinete de deslizamiento en película fluida, la altura de los picos de las asperezas superficiales no debe exceder la mitad del espesor de la película de lubricante y da el valor óptimo del acabado superficial como 0.4 C.L.A (Center Line Average). En este trabajo se contempla este aspecto y se consideran acabados superficiales en un rango que va de 1.6 μm a 3.2 μm .



Garkunov, 1983 hace una valoración de los pares tribológicos en contacto y plantea la posibilidad de aumentar la vida útil del par con el empleo de pares inversos, o sea que lo que gire sea el material más blando. Este señalamiento resulta de interés a la hora de diseñar un cojinete de deslizamiento, por lo que será abordado en esta investigación.

Vizayaraghavan, 1996 estudia el efecto del suministro incorrecto del lubricante en un cojinete de deslizamiento. Así como la selección juiciosa de los canales de lubricación para reducir el consumo de lubricante y las pérdidas de energía, sin reducir la capacidad de carga. Mostrando que es posible reducir en un 70% el consumo de lubricante. Esta problemática también fue considerada por (Álvarez, 2003).

Considera Griffin, 1920 que básicamente, el análisis de falla consiste de investigaciones para descubrir cómo o por qué, algún elemento, pieza o estructura ha fallado. Su función es determinar y describir los factores responsables para la falla a partir de motivaciones asociadas tanto a una práctica ingenieril sana como a consideraciones legales (asociadas a accidentes o perjuicios económicos) o razones académicas. Así, para evitar y prevenir fallas recurrentes en equipamientos similares es absolutamente esencial entender la verdadera razón de las fallas. Los perjuicios económicos que ocasionan las fallas pueden ser cuantiosos, de modo que un correcto análisis de las mismas puede significar un más eficiente uso y ahorro de recursos.

Un buen análisis de falla debe siempre contemplar un positivo aporte en relación a mejorar el diseño, la selección de materiales, las tecnologías de fabricación empleadas y los métodos de inspección. Es decir que el análisis de falla debe jugar un rol adjunto al diseño y producción de un componente mecánico o pieza, realimentando tanto al diseño como a los factores asociados a la producción del componente. Esto se realiza a través de la información que nutre a la historia previa del componente que es uno de los factores que determinan el diseño.

Los autores Inglang y Morelang, 1999 plantean que el óptimo diseño es aquel en que los requerimientos de servicio son ligeramente superados por las



capacidades en todas circunstancias. No obstante, establecer precisamente todos los factores que determinan el óptimo diseño (evitando sobre o subdimensionados) y simular a través de ensayos toda la variedad de condiciones interactuantes en el servicio real, es un objetivo muy difícil de alcanzar. En la mayoría de los casos, la generación de una falla se debe a subdimensionado, cargas no contempladas, errores en la selección y defectos en la fabricación del material, sobre exigencias operativas en el servicio. Por ello, el uso de la información que se obtiene en el análisis de falla, es un elemento vital de la ingeniería total que se debe invertir en el diseño e ingeniería del desarrollo de un producto. Este procedimiento indudablemente mejora la confiabilidad general, la seguridad y la utilidad de un producto.

La falla de un producto metalúrgico no sólo puede ocurrir en el servicio, puede producirse también durante su manufactura, durante un ensayo o durante su transporte previo al servicio. No obstante, el más común tipo de falla está representado por las roturas en servicio y en particular por las roturas producidas por fatiga.

1.2.1 Medidas para combatir el desgaste

Las medidas para combatir los diferentes tipos de fallos de los elementos de maquinas desde el punto de vista del diseño y la tribología se pueden dividir en tres grupos:

- ✓ Variación de los parámetros geométricos y constructivos.
- ✓ Mejoramiento de la calidad superficial (materiales, dureza, acabado superficial, tensiones residuales)
- ✓ Selección adecuada del lubricante y método de lubricación.

1.2.2 Desgaste por fatiga

La teoría del desgaste por fatiga fue planteada por I. V. Kragelsky en 1952 y ha sido desarrollado por él y sus colaboradores contando en la actualidad con una amplia aceptación entre los tribólogos. Esta teoría incorpora el concepto de una unión friccional individual conformada por las asperezas y ondulaciones superficiales, sometida a un estado tensional complejo. El desgaste por fatiga o



desgaste mecánico esta presente y caracteriza a las transmisiones dentadas cerradas (reductores) donde recibe el nombre específico de "desgaste por picadura"; el cual también es propio de los cojinetes de rodamientos, levas. (Álvarez. 2006)

1.2.3 Causas y mecanismo del desgaste por fatiga

Plantea Bold, 1991 que la variación de tensiones en las capas superficiales trae por consecuencia la aparición del fenómeno de la fatiga superficial; él cual es similar a la rotura por fatiga volumétrica de los cuerpos sólidos.

Hay dos mecanismos básicos de la fatiga superficial, uno resultante de grietas o fisuras iniciadas en la superficie y el otro de fisuras iniciadas dentro de la masa del material frecuentemente en inclusiones, vacíos, partículas de carburos.

Las grietas superficiales se deben a las grandes tensiones de contacto que producen la fatiga de las capas superficiales o a defectos superficiales producto del proceso de elaboración mecánica o de montaje. El desprendimiento de las partículas de desgaste es en forma triangular mostrando planos de salida escalonados.

1.2.4 Proceso de metalizado por llama

Presenta las dos variantes: alambre o polvos. Entre los metales típicos proyectados por este método están el aluminio, níquel, cobre, bronce, acero y molibdeno. Entre las cerámicas depositadas por tal proceder se encuentran la alúmina, zirconia, cromo, silicato de zirconia. Los gases combustibles más utilizados son el oxiacetileno y el oxihidrógeno. La temperatura de la llama varía de $(3000 \div 3350)$ °C dependiendo de la relación entre el oxígeno y el gas combustible. (Rodríguez, 1987)

La razón de deposición y espesor depende del material del recubrimiento, por ejemplo, para ciertos recubrimientos de óxidos cerámicos podrían ser depositados a 0.25 gr/seg., mientras para recubrimientos de Zn llega a ser de $(7.5 \div 8.8)$ gr/seg. El proceso es económico, de altas razones de deposición y eficiencia, así como de mantenimiento fácil y bajo costo. Su mayor uso industrial es dirigido a



lograr una alta resistencia a la corrosión, a restituir las partes desgastadas fuera de tolerancia, protección atmosférica y del agua de mar (recubrimientos de Zn y Al).

El espesor del recubrimiento es variable y en principio puede aumentarse tanto como se quiera (por lo general de $125 \div 1000 \mu\text{m}$), en función del medio en el que se vaya a trabajar. Así por ejemplo, un recubrimiento típico de Al o Zn que esté expuesto a un régimen moderadamente agresivo el espesor es de 150-200 μm con una vida de servicio de hasta 20 años, mientras que en ambientes muy agresivos, como los medios corrosivos a altas temperaturas se sitúa por encima de los 375 μm .

Burgos, 1987 considera que aparte de los recubrimientos de Zn, Al y sus aleaciones, los metales que más se proyectan son del tipo de aceros inoxidable austeníticos, aleaciones base níquel, titanio. Otros recubrimientos de interés son los cerámicos, proyectados sobre bases metálicas, que como se planteó combinan la resistencia mecánica de la base con la excelente resistencia a la corrosión y el desgaste de las cerámicas. La dureza del recubrimiento puede variar desde 15 a 65 HRc, dependiendo de la composición de los polvos. Las distancias sustrato – pistola varían entre 6-20 mm. En calidad de sustratos se emplean fundamentalmente hierros fundidos, aceros y aceros inoxidables.

La desventaja del método radica en que la porosidad aunque baja permite la socavación del material, de aquí que sea necesario el sellaje de los poros o un tratamiento posterior. Por otra parte está la limitación de la temperatura de la llama.

1.3 Generalidades de los rodamientos

Los cojinetes de contacto rodante son los apoyos que utilizan elementos de rodadura (bolas, rodillos, agujas) y que funcionan a base del rozamiento. En las máquinas dichos cojinetes están estandarizados y se fabrican en masas en las empresas que lo producen, en la actualidad hay una gran gama de rodamientos que van desde 1,5 mm y menores hasta los 2,6 m de diámetro exterior con peso entre 0,5 g hasta 3,5 Ton.



Las ventajas fundamentales de estos cojinetes respecto a los de contacto plano son las siguientes:

- Centrado más exacto del árbol.
- Bajo coeficiente de rozamiento.
- Poca dependencia del coeficiente de rozamiento del régimen.
- Pequeños momentos en los períodos de arranque.
- Pequeñas dimensiones axiales.
- Capacidad de trabajar con poca alimentación de aceite lubricante.
- Capacidad de trabajar al alto vacío.
- Empleo en una amplia gama de temperaturas (cero abs. – 500%600 grados)

Las principales dificultades de estos son:

- Grandes dimensiones radiales y gran peso (alto precio).
- Rigidez de trabajo (carencia de amortiguamiento de de las oscilaciones de la carga).
- Generación de ruidos.
- Complejidad de instalación y montaje.
- Elevada sensibilidad a las inexactitudes de la instalación.
- Contacto metálico entre los cuerpos de rodadura y los collares del cojinete

Se clasifican

1. Según sean los cuerpos de rodadura: Bolas, rodillos y barriles.
2. Según el número de hileras de elementos de rodadura: de una hilera y de 2 o más hileras.
3. Según las cargas que soportan: radiales, axiales (empuje, radiales-axiales).

Según la sensibilidad a la alineación: autoalineables y no autoalineables.

1.3.1 Deterioros en cojinetes de deslizamiento. Criterios de comprobación

Los cojinetes de deslizamiento pueden sufrir varios deterioros: ralladuras, desgaste acelerado, deposición del metal antifricción en el árbol, descorchados, producto de las siguientes causas:

- . Fatiga.
- . Corrosión.



- Partículas en el lubricante.
- Falta de lubricante o viscosidad insuficiente.
- Desalineamientos.
- Altas presiones.
- Combinaciones inadmisibles de cargas y velocidades. Si se quiere evitar el deterioro prematuro del cojinete este debe ser diseñado cuidadosamente. Para esto es importante analizar las condiciones de trabajo y con ello decidir que criterio emplear para diseñar el cojinete o comprobarlo. En los cojinetes que trabajan en lubricación límite y semi - límite se debe garantizar la resistencia a las cargas a que estará sometido y prevenir el desgaste adhesivo. A los cojinetes que trabajan en condiciones de lubricación hidrodinámica, se les verifica que no exista el contacto entre las superficies del árbol y cojinete, y que la temperatura del lubricante no exceda la admisible.

1.3.2 Cojinetes radiales en lubricación semi- límite

Plantea Reshetov, 1985, que para cojinetes de deslizamiento que soportan cargas radiales y trabajan en régimen de lubricación semi- límite deben garantizarse las tres (3) condiciones siguientes:

- 1) La presión que se ejerce sobre el cojinete debe ser menor que la presión admisible del material del cojinete.
- 2) La velocidad de desplazamiento de una superficie con respecto a la otra debe ser menor que la admisible.
- 3) El producto p.v (presión x velocidad) que caracteriza la generación de calor en el cojinete debe ser comparado con el p.v admisible, que depende del material, lubricación, y refrigeración del cojinete.

Es importante tomar en cuenta que los diseños convencionales de cojinetes de deslizamiento estiman una relación $l / d \approx 0,4 - 1,5$. En caso de cojinetes secos o con aceite en sus porosidades (semiseco) una relación de $l / d = 1$ es recomendable. En cojinetes de carbón grafitado la relación se admite hasta $l / d = 1.5$. Solo en casos de cojinetes con diseño de soporte autoalineante es admisible $l / d = 2$.



Debe tenerse en cuenta que a medida que aumenta la velocidad de trabajo del muñón y gracias a la untuosidad del aceite aumenta la capacidad portante del cojinete por la creación de una película de aceite con suficiente resistencia para separar las superficies del casquillo y el muñón a una distancia pequeña (h_{min}), pero suficiente para que no estén en contacto las crestas de las micro irregularidades de las superficies.

Es posible deducir, con empleo de los conocimientos de Mecánica de los Fluidos, la siguiente fórmula para evaluar la fuerza radial que puede soportar un cojinete de deslizamiento sin que se rompa la película de lubricante y garantizar un régimen de rozamiento líquido (hidrodinámico).

1.4 Diseño en ingeniería mecánica

El diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica; piezas, estructuras, mecanismos, maquinas y dispositivos e instrumentos diversos. En su mayor parte, el diseño mecánico hace uso de la matemática, las ciencias de uso materiales y las ciencias mecánicas aplicadas a la ingeniería.

El diseño de ingeniería mecánica incluye el diseño mecánico, pero es un estudio de mayor amplitud que abarca todas las disciplinas de la ingeniería mecánica, incluso las ciencias térmicas y de los fluidos. A parte de las ciencias fundamentales se requieren, las bases del diseño de ingeniería mecánica son las mismas que las del diseño mecánico.

1.4.1 Consideraciones o factores de diseño

A veces, la resistencia de un elemento es muy importante para determinar la configuración geométrica y las dimensiones que tendrá dicho elemento, en tal caso se dice que la resistencia es un factor importante de diseño.

La expresión factor de diseño significa alguna característica o consideración que influye en le diseño de algún elemento o, quizá, en todo el sistema. Por lo general se tiene que tomar en cuenta varios de esos factores en un caso de diseño determinado. En ocasiones, alguno de esos factores será crítico y, si se satisfacen sus condiciones, ya no será necesario considerar los demás. Por ejemplo, en la tabla 1.1, se relacionan los factores que deben tenerse en cuenta durante el diseño.



Tabla 1.1. Factores a tener en cuenta durante el diseño.

Factores		
Resistencia	Utilidad	Tamaño
Confiabilidad	Costo	flexibilidad
Condiciones térmicas	Seguridad	Control
Corrosión	Peso	Rigidez
Desgaste	Ruido	acabado de superficies
Fricción o rozamiento	Estilización	Lubricación
Procesamiento	forma	Mantenimiento
Volumen		

Algunos de estos factores se refieren directamente a las dimensiones, al material, al procesamiento o procesos de fabricación o bien, a la unión o ensamble de los elementos del sistema. Otros se relacionan con la configuración total del sistema.

En las máquinas, la mayoría de los elementos están sometidos a esfuerzos variables, producidos por cargas y descargas sucesivas y repetidas. Los elementos sujetos a este tipo de esfuerzo se rompen o fallan, frecuentemente, para un valor de esfuerzo mucho menor que el de ruptura correspondiente, determinado mediante el clásico ensayo estático de tensión. Este tipo de falla se denomina ruptura por fatiga.

Para el diseño correcto de elementos sometidos en esfuerzos alternados, es necesario conocer el esfuerzo que puede aplicarse, sin que el elemento se rompa, un número indefinido de veces, o el esfuerzo (algo más alto) que puede quedar aplicado a un cierto número limitado de veces, caso que es importante ya que a veces se diseñan máquinas o elementos que sólo se utilizan ocasionalmente y que pueden tener, por tanto, una vida larga sin que el número de veces que se haya aplicado a las cargas sea demasiado grande.

El enfoque tradicional de diseño, está basado en el hecho de comparar el esfuerzo aplicado contra el esfuerzo de fluencia para predecir el momento en que la rotura se iba a presentar; el esfuerzo aplicado debía ser menor que el esfuerzo de fluencia, pero esto a veces se cumplía en la práctica pero aun así la rotura se presentaba.

1.5 Evaluación del material



Las técnicas y ensayos a aplicar deben seguir un orden de destructividad, tratando de aplicar aquellas más inocuas o menos dañinas. Hay que tener en cuenta que a veces, por querer obtener información, en realidad se provoca la pérdida de evidencias por aplicación de una técnica o ensayo no adecuado. Los siguientes ensayos deben ser considerados según Bilmes, 1999

A) Fractografía macroscópica (visual o con lupa) y microscópica mediante microscopía electrónica de barrido con analizador de rayos X (MEB/EDAX) que permite análisis hasta 10.000X con alta resolución y profundidad de campo, junto con análisis de composición química de por ej: Inclusiones o productos de corrosión. El análisis fractográfico permite identificar el tipo de fractura (por fatiga, frágil, dúctil por sobrecarga) y el origen y propagación de la misma a través del reconocimiento de específicos tipos de marcas (chevrones, beach marks, estrías, clivaje, dimples).

B) Ensayos no destructivos para identificar defectos superficiales y subsuperficiales (tintas penetrantes, ultrasonido, partículas magnéticas, radiografía, eddy current).

C) Análisis químicos (por vía espectrométrica, húmeda, MEB/EDAX, cromatografía, difracción de rayos x). Este análisis es de rigor ya que permite corroborar si el material se ajusta a lo especificado.

1.6 Clasificación de los motores de inducción de jaula de ardillas de acuerdo con el enfriamiento y el ambiente de trabajo

Los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla, y en general todos los motores eléctricos, se pueden clasificar también de acuerdo con el ambiente en que funcionan, sí también como en los métodos de enfriamiento.

La temperatura ambiente juega un papel importante en la capacidad y selección del tamaño de armazón para una dínamo, parte importante del motivo es que la temperatura ambiente influye en la elevación permisible de temperatura por sobre



los 40° C normales. Por ejemplo una máquina que trabaje a una temperatura ambiente de 75° C empleando aislamiento clase B tiene un aumento permisible de temperatura de tan solo 55° C. Si trabajara a su temperatura ambiente normal de 40 ° C se podría permitir un aumento de temperatura de 90° C, sin dañar su aislamiento.

También se hizo notar que la hermeticidad de la máquina afecta a su capacidad. Una máquina con una armazón totalmente abierta con un ventilador interno en su eje, permite un fácil paso de aire succionado y arrojado. Esta caja origina una temperatura final de trabajo en los devanados, menor en comparación que la de una máquina totalmente cerrada que evita el intercambio de aire con el exterior.

Teniendo en cuenta el funcionamiento de estos motores se analiza el comportamiento del mismo valorando sus características mecánicas y su regulación.

1.6.1 Motores de inducción de jaula de Ardilla clase A

El motor clase A es un motor de jaula de ardilla normal o estándar fabricado para uso a velocidad constante. Tiene grandes áreas de ranuras para una muy buena disipación de calor, y barras con ranuras ondas en el motor. Durante el periodo de arranque, la densidad de corriente es alta cerca de la superficie del rotor; durante el periodo de la marcha, la densidad se distribuye con uniformidad. Esta diferencia origina algo de alta resistencia y baja reactancia de arranque, con lo cual se tiene un par de arranque entre 1.5 y 1.75 veces el nominal (a plena carga). El par de arranque es relativamente alto y la baja resistencia del rotor produce una aceleración bastante rápida hacia la velocidad nominal. Tiene la mejor regulación de velocidad pero su corriente de arranque varía entre 5 y 7 veces la corriente nominal normal, haciéndolo menos deseable para arranque con línea, en especial en los tamaños grandes de corriente que sean indeseables.

1.6.2 Motores de inducción de jaula de ardilla clase B

A los motores de clase B a veces se les llama motores de propósito general; es muy parecido al de la clase A debido al comportamiento de su deslizamiento-par. Las ranuras de su motor están embebidas algo más profundamente que el los



motores de clase A y esta mayor profundidad tiende a aumentar la reactancia de arranque y la marcha del rotor. Este aumento reduce un poco el par y la corriente de arranque.

Las corrientes de arranque varían entre 4 y 5 veces la corriente nominal en los tamaños mayores de 5 HP se sigue usando arranque a voltaje reducido. Los motores de clase B se prefieren sobre los de la clase A para tamaños mayores.

Las aplicaciones típicas comprenden las bombas centrífugas de impulsión, las máquinas herramientas y los sopladores.

1.6.3 Motores de inducción de jaula de ardilla clase C

Estos motores tienen un rotor de doble jaula de ardilla, el cual desarrolla un alto par de arranque y una menor corriente de arranque.

Debido a su alto par de arranque, acelera rápidamente, sin embargo cuando se emplea en grandes cargas, se limita la disipación térmica del motor por que la mayor parte de la corriente se concentra en el devanado superior.

En condiciones de arranque frecuente, el rotor tiene tendencia a sobre calentarse se adecua mejor a grandes cargas repentinas pero de tipo de baja inercia.

Las aplicaciones de los motores de clase C se limitan a condiciones en las que es difícil el arranque como en bombas y compresores de pistón

1.6.4 Motores de inducción de jaula de ardilla clase D

Los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla clase D se conocen también como de alto par y alta resistencia.

Las barras del rotor se fabrican en aleación de alta resistencia y se colocan en ranuras cercanas a la superficie o están embebidas en ranuras de pequeño diámetro. La relación de resistencia a reactancia del rotor de arranque es mayor que en lo motores de las clases anteriores.

El motor está diseñado para servicio pesado de arranque, encuentra su mayor aplicación con cargas como cizallas o troqueles, que necesitan el alto par con aplicación a carga repentina la regulación de velocidad en esta clase de motores es la peor.

1.6.5 Motores de inducción de jaula de ardilla clase F



También conocidos como motores de doble jaula y bajo par. Están diseñados principalmente como motores de baja corriente, porque necesita la menor corriente de arranque de todas las clases. Tiene una alta resistencia del rotor tanto en su devanado de arranque como en el de marcha y tiende a aumentar la impedancia de arranque y de marcha, y a reducir la corriente de marcha y de arranque.

El rotor de clase F se diseño para remplazar al motor de clase B. El motor de clase F produce pares de arranque aproximadamente 1.25 veces el par nominal y bajas corrientes de arranque de 2 a 4 veces la nominal. Los motores de esta clase se fabrican de la capacidad de 25 hp para servicio directo de la línea. Debido a la resistencia del rotor relativamente alta de arranque y de marcha, estos motores tienen menos regulación de voltaje de los de clase B, bajan capacidad de sobrecarga y en general de baja eficiencia de funcionamiento. Sin embargo, cuando se arrancan con grandes cargas, las bajas de corrientes de arranque eliminan la necesidad de equipo para voltaje reducido, aún en los tamaños grandes.

1.7 Flujo tecnológico de la planta de simple contacto

La materia prima a utilizar en esta planta es el azufre, el cual, en forma líquida se hace llegar desde las piscinas al horno a través de bombas centrífugas verticales, al llegar al horno este azufre entra a través de un quemador a una cámara en la cual existe determinada temperatura.

Este azufre es quemado en el horno, desde el cual saldrá una mezcla de gases, donde lo más importante es el dióxido de azufre SO_2 , así como también oxígeno y nitrógeno.

Esta formación de SO_2 en el horno se le puede considerar el corazón de una planta de ácido sulfúrico y es una reacción altamente exotérmica, por lo que el gas normalmente sale con temperaturas de alrededor de 600-620⁰C.

El aire que se utiliza para la combustión del azufre y la obtención del SO_2 en el horno debe ser totalmente seco para evitar la formación de vapores que traerían consecuencias negativas en otras partes del proceso. Por esta causa este aire en



la descarga del soplador circula a través de una torre de secado que cumple esta función.

La torre de secado es un recipiente cilíndrico con anillos rashig en su interior y unos distribuidores de ácido en la parte superior, el flujo de aire entra por la parte inferior y el ácido por la superior, este ácido es capaz de absorber el agua que trae el aire, saliendo este seco hacia el horno.

Este gas al salir del horno pasa por la caldera No.1, que actúa como un intercambiador de calor y reduce la temperatura del gas hasta los niveles permisibles a la entrada de la etapa No.1 de conversión en el convertidor, en este intercambiador de calor se produce vapor de alta presión y alta temperatura 650psi y 750^oF, que es utilizado en otras partes del proceso metalúrgico de la empresa.

La temperatura a la salida de la caldera o entrada al convertidor es controlada además por un by pass que tiene esta caldera y pueden desviarse los gases para que circulen a través de la caldera o por el by pass; como es lógico si se necesita una mayor temperatura en los gases de entrada al convertidor se pasan menos gases a través de la caldera y la producción de vapor de la misma disminuye.

Los gases luego de salir de la caldera pasan al filtro de gas caliente que tiene la función de remover cualquier ceniza, polvo o impurezas sólidas en el flujo de gas antes de entrar al convertidor para su conversión de SO_2 a SO_3 por la primera cama, etapa o masa, esta queda situada en la parte superior del convertidor.

La reacción es exotérmica y por lo tanto desprende calor, así que los gases al salir de la primera masa han elevado su temperatura, por lo que es necesario pasarlos por un segundo intercambiador de calor o caldera No.2, donde al igual que en la caldera No.1 se produce vapor de alta presión y alta temperatura. La caldera 2 también posee un by pass para regular la temperatura a la entrada de la masa 2.

Para disminuir este aumento de temperatura en los gases de salida de la segunda masa y entrada de la tercera y de salida de esta y entrada a la cuarta los gases pasan a través de supercalentadores de vapor que están instalados dentro del



propio convertidor. Para regular la temperatura en cada uno de ellos se opera con la cantidad de vapor a pasar por los tubos limitándola si fuera necesario.

Ya los gases al salir de la cuarta masa pasan a través de un economizador donde es transferida parte de la temperatura de los gases de salida al agua que va a las calderas para la generación de vapor.

Luego de pasar por el economizador los gases van a la torre de absorción, que al igual que la de secado es un recipiente cilíndrico con anillos rasching en su interior y distribuidores de ácido en la parte superior, el gas con alto contenido de SO_3 entra a la torre por la parte inferior y el ácido tiene la función de absorber este SO_3 , el gas a la salida de esta torre va a la chimenea donde es expulsado a la atmósfera.

Tanto en la torre de absorción como en la de secado a la salida están instalados los eliminadores de nieblas, que tienen la función de no dejar que el gas arrastre nieblas ácidas que se forman en estas torres y evitan que pasen al horno o a la atmósfera donde trae consecuencias indeseadas.

El ácido que absorbe el aire en la torre de secado y al SO_3 en la torre de absorción van hacia un tanque denominado "tanque de bombeo" por gravedad, el ácido que proviene de la torre de secado es un ácido con menor concentración ya que ha recibido el agua proveniente del aire y el ácido de la torre de absorción tiene una mayor concentración porque recibe el SO_3 del gas proveniente del convertidor.

En el tanque de bombeo además están instaladas 3 bombas que tienen la función de bombear el ácido a las torres de secado y absorción, pasando este por un intercambiador de calor de tubo y coraza llamado "enfriador de ácido de recirculación", este enfriador es necesario ya que el ácido sale con una temperatura muy elevada, producto de la reacción exotérmica que se produce al recibir el agua para mantener su concentración. Parte de este ácido a la salida del enfriador de ácido de recirculación pasa a otro intercambiador denominado "enfriador de ácido producto", que igualmente es de tubo y coraza y tiene la función de enfriar hasta la temperatura adecuada el ácido que va a los tanques de almacenaje.



El agua que circula por los enfriadores de ácido y que recibe el calor de los mismos es enfriada en una torre de enfriamiento que cuenta con 4 celdas y un sistema de make up.

El sistema de almacenaje de azufre cuenta con 2 tanques de 4500 toneladas de capacidad y 2 piscinas de 240 toneladas de capacidad aproximadamente.



1.8 Conclusiones del capítulo I

- ❖ El desgaste es el resultado de una interacción superficial de naturaleza dual: atracción molecular en los límites de la adhesión y deformación mecánica en los límites del micro corte.
- ❖ En los rodamientos de contacto plano, durante el proceso de rellenado, tienen como desventaja la porosidad, que aunque baja permite la socavación del material, de aquí que sea necesario el sellaje de los poros o un tratamiento posterior. Por otra parte está la limitación de la temperatura de la llama.
- ❖ El diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica; piezas, estructuras, mecanismos, maquinas y dispositivos e instrumentos diversos, que permite determinar entre otros aspectos su función mecánica.



CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Introducción

En este capítulo se expondrá la metodología a emplear para la selección del rodamiento, así, como los materiales que se emplearán en la investigación. Los materiales son los encargados de facilitarle las condiciones de trabajo al operario ya que a través de estos se pueden obtener valores que no tienen otra forma de medirse o conocerse y los métodos son los que nos proporcionan las variantes para desarrollar una investigación hacia un objeto o pieza deseada.

En este capítulo se plantea como objetivo:

1. Fundamentar las propiedades a investigar y explicar los métodos, procedimientos y condiciones en la que se realizará el diseño del tipo de rodamiento.

2.2 Herramientas empleadas

Las herramientas utilizadas en la búsqueda de datos para darle solución a la investigación fueron cinta métrica de (5mts.), pie de rey digital de (500mm.) y documentación relacionada con el equipo.

Se empleó un microscopio óptico binocular marca NOVEL modelo NIM - 100 ubicado en el laboratorio de Ciencia de los Materiales del ISMM de Moa, está dotado de una cámara instalada mediante el hardware IMI.VIDEOCAPTURE.exe que refleja la fotografía en el computador. Para colocar las probetas en el microscopio se montan en un dispositivo con plastilina que permite una nivelación adecuada de estas.

En la figura 2.5, se observa la imagen del microscopio empleado en la observación de las muestras.



Figura 2.5. Microscópio Óptico NOVEL modelo NIM-100.

2.3. Caracterización del motor 2AM3-1000

- ❖ Características principales del motor



- Potencia del motor eléctrico.	.950 kW
- Tensión.	.2300 V
- Frecuencia de rotación	3500rev/min
- Corriente de arranque.	.190 A
- Peso del rotor	1020 kg.

2.4. Distancia entre los rodamientos

La distancia entre los apoyos donde van situados los rodamientos es de 1578 mm. La operación de medición horizontal para la toma de la distancia entre los apoyos, se realiza con una cinta métrica manual, fijando dos pequeñas barras en los extremos de los mismos con el objetivo de obtener las dimensiones exactas, garantizando la mayor precisión posible en los cálculos. El diámetro de la sección donde se colocan los rodamientos es de 140 mm.

Dicha operación se efectúa con un pie de rey digital colocándolo de forma precisa en el eje después de haber eliminado todo tipo de suciedad en la superficie del eje.

2.5 Particularidades del diseño de rodamientos. Metodología de cálculo para la selección de los rodamientos

Para la realización del diseño de los rodamientos se deben de tener varios aspectos en cuenta debido a que cada uno de ellos tiene sus propias particularidades ya sea en cuanto a la carga que deben soportar, como al número de revoluciones a la cual gira el elemento al que esté acoplado, temperatura, fricción resultante del contacto con el elemento.

Los componentes de los rodamientos tienen distintas características en dependencia de la sollicitación a la que estén sometidos, por lo cual tienen distintas composiciones, dureza, aplicaciones, a continuación verán ejemplos de ello.

Bolas de acero cementado AISI 1010/1015, las bolas fabricadas con este material son adecuadas para aplicaciones donde la carga no sea elevada y no se requiera una alta precisión.



Bolas de acero al carbono con temple integral -AISI 1045/1085-. Este tipo de bolas presenta la ventaja de ofrecer una mayor resistencia a la carga respecto a las bolas fabricadas con acero al carbono cementado ya que aceptan un mayor endurecimiento de la parte interna de la bola, se utilizan en aplicaciones como bicicletas.

Las bolas de acero inoxidable del tipo AISI 420-B /420-C (martensítico), son de un acero inoxidable adecuado para aplicaciones en contacto con agua, vapor de agua y gasolina. Son muy utilizadas en aplicaciones como, rodamientos inoxidables,

Bolas transportadoras, se utilizan principalmente para deslizar bultos pesados en cualquier dirección, especialmente en sistemas de transporte interno, plataformas.

2.5.1. Cálculo del Momento flector

Se define como momento flector a la acción de una carga ya sea puntual o distribuido sobre una superficie con respecto a un punto de la misma en torno a los ejes de proyección, provocando como su nombre lo indica una flexión, que está dada en dependencia del material. La flexión puede ser plana u oblicua, la plana es cuando el ángulo con respecto a la superficie es de 90 grados y oblicua cuando la incidencia de la carga es en un ángulo distinto a 90 grados existiendo flexión en ambos ejes

El momento flector se expresa en N.m, depende del ángulo, magnitud de la carga, distancia entre la misma y el punto de referencia.

$$M_f = M_{flex} = \sqrt{M_y^2 + M_x^2}; N .mm \quad (2.1)$$

Donde:

M_y = Momento flector de las cargas que actúan en el eje Y; N.mm

M_x = Momento flector de las cargas que actúan en el eje x; N.mm

$$F = (P_{otor} + P_{eje}/2)9.81 \quad (2.2)$$



$$Peje = V \cdot \Gamma$$

(2.3)

2.5.2 Cálculo del Momento torsor

El mismo está dado por la potencia del motor, el número de revoluciones y el material de la misma, se expresa en N.m

$$M_t = \frac{N}{\omega}$$

(2.4)

Donde:

N = potencia; kW.

ω = velocidad angular; S⁻¹.

2.5.3 Metodología para la selección y montaje de rodamientos

Se escoge el tipo y las medidas del cojinete basándose en las cargas que actúan sobre el mismo y la lista de exigencias del usuario:

Se determina la carga radial completa sobre los cojinetes (apoyos derecho e izquierdo)

$$F_{rI} = \sqrt{(F_{rIx})^2 + (F_{rIy})^2}; N \quad (\text{Apoyo izquierdo})$$

(2.5)

$$F_{rII} = \sqrt{(F_{rIIx})^2 + (F_{rIIy})^2}; N \quad (\text{Apoyo derecho})$$

(2.6)

Siendo F_{rIx} , F_{rIy} , F_{rIIx} , F_{rIIy} las reacciones de apoyo en cada uno de los planos para la secciones dadas

Se determinan las componentes axiales de las reacciones S_I y S_{II} :

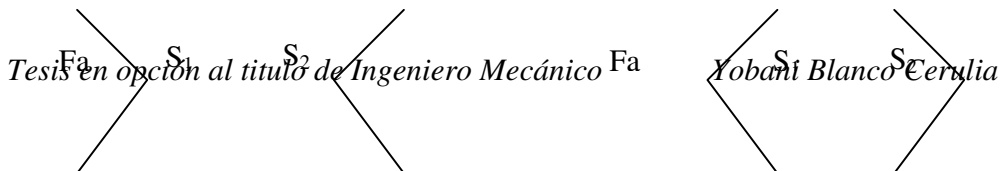
$$\text{Cojinetes de bolas (radiales-axiales)} \quad S_I = e \cdot F_{rI}$$

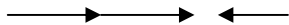
(2.7)

$$S_{II} = e \cdot F_{rII}$$

(2.8)

Se determina la carga axial completa sobre los cojinetes, teniendo en cuenta el tipo de montaje:





Montaje en "X"



Montaje en "O"

Elegir los coeficientes de carga radial "X" y de carga axial "Y" según el tipo de cojinete en función de la relación F_a/VF_r :

Si $F_a/VF_r \leq e$ entonces se toman $X = 1$ e $Y = 0$

2.5.4 Cálculo de la longevidad teórica

$$L_{10} = (C / P)^\alpha \quad (2.9)$$

Donde:

L_{10} es la vida estimada en millones de revoluciones

C - es la capacidad de carga dinámica

P - es la carga equivalente sobre el rodamiento,

α . Coeficiente que depende del elemento de rodadura

$\alpha = 3$ para los rodamientos de bolas.

2.5.5 Determinación de la longevidad en horas

Se refiere al tiempo de duración o al tiempo de vida útil del cojinete, este tiempo se expresa en unidad de tiempo

$$L_{10hc} = \frac{10^6}{60n} L_{10} = \frac{10^6}{60.n} \left(\frac{C}{P} \right)^\alpha ; hrs. \quad (2.10)$$

Donde:

L_{10h} .- es la vida estimada en horas de funcionamiento

n .- es la velocidad de rotación de árbol en m^{-1} .

2.6 Comprobación a la resistencia del árbol

A diferencia de los cojinetes de rodamiento, que trabajan con fricción por rodadura, los cojinetes de contacto plano trabajan con fricción por deslizamiento.



Por eso las pérdidas por fricción para los cojinetes de deslizamiento, que trabajan con frecuentes arranques y paradas o en régimen de lubricación límite o semi-límite, son mayores que las de los rodamientos.

El cálculo de estos artículos se desarrolla de diferentes formas:

Para realizar el croquis del árbol o eje, las cargas que se tienen en cuenta son las de los transmisiones colocadas sobre estos, o sea solo los esfuerzos de torsión.

2.6.1 Determinación del diámetro de salida

$$d_k \geq \sqrt[3]{\frac{Mt}{0,2[\tau]}}; mm$$

(2.11)

Siendo el Mt que actúa sobre el árbol; N.mm

$[\tau]$.- tensión admisible a cortante; [MPa]

Depende del número de revoluciones del árbol, comúnmente se suele adoptar:

$[\tau]=12...20$ [MPa]

2.6.2 Cálculo del momento equivalente

Por la tercera teoría de resistencia se determina el momento equivalente para la combinación de esfuerzos:

$$M_{eq} = \sqrt{M_{flex}^2 + M_t^2}; N .mm \quad (2.12)$$

2.6.3 Determinación del diámetro de la sección peligrosa

Se determina el diámetro para la sección más peligrosa.

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{eq}}{0,1(1 - \beta^4)[\sigma_{flex}]_{III}}}; mm$$

(2.13)

Donde:

β - relación diámetro interior-diámetro exterior

$[\sigma_{-1flex}]$.- Tensión admisible a la tracción compresión del material

$$[\sigma_f]_{III} = \frac{0.33\sigma_r}{3.8}$$

(2.14)



σ_r - Tensión admisible a la tracción compresión; [MPa]

2.7 Selección del lubricante que debe ser aplicado

Para la selección del lubricante es necesario el cálculo del factor de velocidad teniendo en cuenta las características del rodamiento.

2.7.1 Factor de velocidad

$$IFn = n \cdot D_m < 3 \cdot 10^5$$

(2.15)

Donde:

D_m – diámetro medio

n – número de revoluciones

2.7.2 Determinación de la viscosidad requerida

Existen dos métodos para el cálculo, si el $IFn \geq 1000rpm$ se utiliza expresión siguiente.

$$U_t = \frac{4500}{\sqrt{n \cdot dm}}$$

(2.16)

2.8 Preparación metalográfica de las probetas

El examen microscópico proporcionan información sobre la constitución del metal o aleación, pudiéndose determinar características tales como forma, tamaño y distribución de granos, inclusiones y microestructura metalográfica en general. La microestructura puede reflejar la historia completa del tratamiento mecánico que ha sufrido el metal. La preparación defectuosa de las probetas puede arrancar las inclusiones importantes, destruir los bordes de grano, revenir un acero templado o en general, originar una estructura superficial distorsionada que no guarda ninguna relación con la superficie representativa y características del metal.

Las operaciones se resumen en el siguiente orden, según la norma NC 10-56:86 y ASTM E3-95.

1. Selección de la muestra.
2. Toma o corte de la muestra.
3. Ataque químico de la probeta.
4. Montaje y preparación de la probeta.



3. Análisis microscópico.

6. Obtención de micrográficas.

2.8.1 Análisis para la preparación metalográfica de las probetas

Para la selección de las muestras se tuvo en cuenta la función del pasador, se valoró las características de trabajo del mismo, las muestras seleccionadas debían responder según el objetivo del trabajo, se seleccionaron a partir de las capas que se deforman en el pasador, la que está en contacto con el casquillo, la que se deforma en los puntos del contacto del casquillo y la que aún está sin deformar. El corte de las mismas se realizó en dos máquinas, el torno 16 K 20 y la fresadora 6 H 12 Г, con abundante refrigeración para evitar el calentamiento excesivo en las mismas y el cambio de estructura producto del calentamiento y la acritud.

✓ El desbaste se realizó con abrasivos 150 (para el desbaste primario), 400 (para el asentamiento de las irregularidades) y 600 (acabado final), eliminando todas rayas dejadas por la herramienta de corte y los surcos y huellas del abrasivo anterior. Al pasar de un abrasivo a otro, girando la probeta 90 grados, lavando la probeta con agua abundante.

✓ En el pulido, hasta alcanzar el brillo de espejo, se empleó un paño de terciopelo con abundante oxido de cromo, se lavó con abundante agua para eliminar los residuos del pulido atacándose luego con NITAL (Según ASTM E-262-Practice A).

El NITAL es un reactivo químico preparado al 4%.

Ácido Nítrico (HNO_3) 5ml

Alcohol (etanol) 100ml

Se empleó con el objetivo de resaltar la estructura obtenida después de realizado el pulido, para observar la estructura metalográfica formada después de la deformación del material bajo carga por rodadura. Este reactivo resalta los diversos constituyentes estructurales y el contorno de los granos del acero AISI 1045. Pone en manifiesto las uniones de los granos de ferrita, la perlita se ennegrece y la cementita se mantiene blanca.



- ✓ El Montaje de la probeta para la observación microscópica, se realizó en plastilina y nivelada con una prensa destinada para este fin, con el objetivo de buscar la rectitud en la observación y evitar de esta forma desviación o falsa lectura de la microestructura durante el análisis.

2.8.2 Selección de la muestra

La localización de la parte que ha de ser examinada es de gran importancia, ya que ha de lograrse una probeta representativa del material a examinar. Las probetas seleccionadas deben ser características del metal estudiado y servir para el fin a que se dirige tal estudio seleccionando adecuadamente la región de la zona que pueda dar el máximo de información para realizar con éxito el estudio propuesto.

El tamaño adecuado de la probeta debe ser tal que pueda sostenerse con la mano durante su preparación.

2.8.3 Corte de la probeta

Puede realizarse con seguetas, cortadora de cinta o disco abrasivo, oxiacetileno, teniendo la precaución de evitar el calentamiento que puede ocasionar alteraciones estructurales.

2.8.3.1 Montaje de la probeta

Se hace en materiales plásticos sintéticos como bakelita, lucite, o acrílico isotérmico que después del moldeo son relativamente duros y resistentes a la corrosión y no causan empastamiento de los papeles abrasivos durante el desbaste y pulido.

2.8.4 Desbaste

Es la operación siguiente al corte y al montaje de la probeta y se efectúa en una desbastadora de cinta rotativa o sobre papeles abrasivos de diferentes grados, colocados sobre discos giratorios.

Al pasar de un abrasivo a otro, debe girarse la probeta 90 grados y desbastar hasta que se borren por completo las huellas del abrasivo anterior, teniendo siempre el cuidado de lavar la probeta con agua abundante. Se aconseja pasar la



probeta por toda la serie de abrasivos: 150, 220, 280, 320, 400, 500, y 600, pues eliminar algún abrasivo retarda la operación en vez de acelerarla.

Una presión excesiva sobre el papel abrasivo puede causar rayas profundas y difíciles de eliminar posteriormente, además se provoca una distorsión intensa sobre el metal de la superficie, alterando el aspecto de la estructura. Esta distorsión no se puede evitar completamente pero puede reducirse mediante técnicas adecuadas de desbaste y pulido.

Los paños, siempre húmedos y con suficiente abrasivo, van sujetos a unos discos giratorios, aunque también pueden ir apoyados sobre una superficie plana y limpia. En nuestro caso para realizar el pulido nos hemos ayudado de unas pulidoras manuales, marca MONTASUPAL. El disco gira, y la probeta, apoyada suavemente sobre él, se hizo girar describiendo círculos en sentido contrario al del disco.

Al final del desbaste, deben lavarse con agua abundante tanto las probetas como las manos del operador para evitar que las partículas del abrasivo o del metal en la etapa del desbaste pasen a las pulidoras lo cual los haría inservibles.

➤ **Características de la máquina de pulir**

Voltaje.	250
V	
Corriente.	2.5
Amp	
Numero de revoluciones.	300-1000 rev/min
Potencia del motor.	5
HP	

2.8.5 Pulido

Tiene por objeto, eliminar las rayas finas producidas en la última operación de desbaste y conseguir una superficie sin rayas y con alto pulimento a espejo.

El éxito del pulido y el tiempo empleado en la operación, depende en gran parte del cuidado con que se haya realizado el desbaste. Si una probeta tiene rayas



profundas que no se han eliminado en las últimas operaciones de desbaste, no podrán ser eliminadas durante el pulido con pérdida de tiempo y trabajo.

La forma de realizar el pulido es, apoyando la cara desbastada de la probeta sobre un paño embebido con una suspensión del abrasivo y fijado a un disco que gira accionado por un motor.

Como paños pueden emplearse el paño de billar, el raso, la seda, el terciopelo, y otros que corresponden a nombres comerciales como Selvit, Gamal, Kansas, Microcloth. Como abrasivo puede usarse una suspensión acuosa de alúmina, óxido de cromo, óxido de hierro, óxido de magnesio, o para materiales muy duros una suspensión de polvo de diamante en aceite mineral. El tamaño de la partícula abrasiva en suspensión oscila entre 100 y algunas décimas de micrón.

2.8.6 Ataque

Para el ataque, se toma la probeta con la pinza y se sumerge con la cara pulida hacia abajo en el reactivo de ataque contenido en el cristizador. Se extrae, se lava con alcohol, se seca y se observa al microscopio, se registra el campo observado a diferentes aumentos. Se vuelve a pulir y se repite la operación descrita anteriormente manteniendo sucesivamente la probeta sumergida durante 2, 10, 20, 40, y 80 segundos, registrando el campo observado después de cada ataque. Mediante el ataque es posible poner de manifiesto el tamaño, forma y distribución del grano (fases o microconstituyentes), las heterogeneidades en la estructura y las segregaciones.

2.8.7 Elaboración mecánica de las probetas

Corte de las probetas $L = 15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$. Norma ASTM E 92

Las operaciones de corte para la toma de las probetas, se realizan en una fresadora, metales, garantizando un constante y severo régimen de enfriamiento evitando que el calentamiento producido por la fricción durante el proceso de corte pudieran aparecer transformaciones en la estructura.

Todas las probetas se someten al régimen de maquinado por lo se asume la posibilidad de que en las superficies de las mismas haya estado presente el



fenómeno de la acritud aunque en poca escala, por lo que se requieren condiciones intensas de evacuación del calor.

Para garantizar el buen acabado superficial obtenido y previo al tratamiento, la probeta se cilindrará exteriormente entre plato y punto, con los siguientes datos de corte:

$n = 63 \text{ rev/min}$, $S = 0,05 \text{ mm/rev}$.



2.9. Conclusiones del Capítulo II

- ❖ Se determina la metodología de cálculo para la realización del diseño y selección del rodamiento a emplearse en el motor 2AM3-1000.
- ❖ En el epígrafe 2.7.2 se valora la selección del tipo de lubricante a emplear, el cual es fundamental en el proceso de durabilidad de la transmisión, debido a que un equipo con la lubricación adecuada disminuye considerablemente el desgaste en el par tribológico.
- ❖ Se determina la metodología para el estudio metalográfico de la probeta.



CAPITULO III ANALISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción

En éste capitulo se exponen los resultados derivados del trabajo, y a partir de los mismos, las expresiones matemático que describan las regularidades del diseño del sistema de los rodamientos del motor 2AM3-1000

El objeto del análisis de la tecnología de la producción, complejidad muy diferente según los productos y servicios de que se trate, consiste en establecer si el proyecto es técnicamente o no factible, cuales son los procesos más adecuados y como se comportan los mismos.

El objetivo del capítulo es:

Determinar los resultados del diseño del sistema de rodamientos, así como la valoración económica del mismo, además del impacto que produce al medio ambiente.

3.2 Análisis del sistema de diseño del conjunto de rodamientos del motor asíncrono 2AM3-1000

Diseñar es formular un plan para satisfacer una demanda humana. La necesidad particular que habría de satisfacerse puede estar completamente bien definida desde el principio. En comparación con los problemas matemáticos o puramente científicos, los problemas de diseño no tienen una sola respuesta correcta en todos los casos.

Un problema de diseño no es un problema hipotético en absoluto. Todo diseño tiene un propósito concreto: la obtención de un resultado final al que se llega mediante una acción determinada o por la creación de algo que tiene realidad física. En ingeniería, el término diseño puede tener diferentes significados para distintas personas. Algunos consideran al diseñador como el técnico que dibuja en todos sus detalles. Otros creen que el diseño es la creación de un sistema complejo, como una red de comunicaciones.

3.2.1 Análisis del cálculo del momento flector

El momento flector se calculará por la ecuación 2.1, teniendo que la reacciones en los apoyos R_{IV} y R_{IIV} van a tener un mismo valor debido a que están a una misma distancia de la carga la cual es totalmente radial y tiene un valor de 13000N por tanto las reacciones ecuación 2.2 tienen un valor de 6 500N las cuales se encuentran a una distancia de 789mm y el momento flector tendrá un valor de 5128500N.mm, por la ecuación y 2.3 se obtiene que el peso del árbol es de 280 kg.



Dicho resultado significa que bajo las condiciones a las que está sometido el árbol este será el máximo valor de flexión soportado por el árbol.

3.2.2 Cálculo del momento torsor

El mismo se determinará por la ecuación 2.4 y conociendo que la potencia es de 950 kW y el número de revoluciones es de 366.3333 s^{-1} el momento torsor será de 2593266 N.mm. Este es el esfuerzo a la torsión obtenido por las características de la máquina.

3.2.3 Cálculo de las fuerzas resultantes

A través de las ecuaciones 2.5 y 2.6 se obtendrá que las F_{rI} y F_{rII} serán de 6500 N.

Ambas reacciones se determinan con la finalidad de obtener el valor máximo en cada uno de los apoyos.

3.3. Determinación de las componentes axiales de las reacciones

Con la utilización de las ecuaciones 2.6 y 2.7 debido a que la carga actuante es radial los mismos son nulos. Y por consiguiente el montaje es simple.

3.3.1 Cálculo de longevidad teórica

De la ecuación 2.8 se derivará que la misma será de 4979 millones de revoluciones conociendo que la capacidad de carga dinámica C es de 111000N y el peso equivalente es de 6500 N.

Este resultado significa que esta será la máxima expresión de la durabilidad del rodamiento sin tener en cuenta el número de revoluciones de la máquina.

3.3.2 Cálculo de la longevidad en horas

Este depende de varios factores como, C_0 que el mismo tiene un valor de 108000N, tanto el número de revoluciones n, que conocemos que es de 3500 rev/min , además del coeficiente que depende del elemento de rodadura α el cual es 3, por cuanto la longevidad en horas será de 21842 hrs.

Este valor significa que la duración real de este rodamiento será de 2años y 6 meses.

3.4 Cálculo del diámetro de salida del árbol

Para la obtención del diámetro de salida d_k se tienen en cuenta los esfuerzos a la torsión. $[\tau]$, tiene un valor de 20 MPa y el momento torsor ya conocido, se obtendrá un valor de 87mm.

Esto conlleva a la conclusión de que las dimensiones que tiene el árbol en la salida cumplen con las exigencias técnicas.

3.4.1 Cálculo del momento equivalente

Para su determinación como el nombre lo indica se tienen en cuenta ambos esfuerzos, el torsor y el flector y será igual a 5746872 Nmm.

Dicho cálculo es el valor de la combinación de los dos esfuerzos a la que está sometido el árbol.



3.4.2 Determinación del diámetro de la sección peligrosa

En cálculo del diámetro de la sección peligrosa se conjugan el momento equivalente, la relación diámetro interior-diámetro exterior β que la misma es igual a 0 debido a que el árbol es completamente macizo y la $[\sigma_{flex}]_{III}$ que por la ecuación 2.14 tendrá un valor de 59,66Nmm² en el cual la tensión admisible a la tracción es de 687 Nmm² y por tanto el diámetro tendrá un valor de 98,76mm.

Este valor de una menor cuantía que el que posee el motor, por tanto resiste bajo estas condiciones

3.5 Obtención del factor de velocidad.

Este factor será calculado por la ecuación 2.15 y será igual a 612 500 por lo propio se utilizará aceite en su lubricación.

3.6 Cálculo de la viscosidad requerida

Para la determinación de la viscosidad requerida reutiliza la expresión 2.16 y tendrá un valor de 2.173 mm³ / s .

Después de realizados los cálculos del diseño del árbol y las condiciones de trabajo del mismo, que está expuesto a desgaste consecutivo seleccionamos por catálogo (FAG) que el rodamiento a emplear presenta las siguientes características técnicas.

Rodamiento de una hilera de bolas 6028.

Diámetro interior d; 14 mm.

Diámetro exterior D; 210 mm.

Ancho del rodamiento B; 33 mm.

Composición química

La composición química se tomó como promedio de los resultados de tres chispas. El análisis químico se realizó empleando un Espectrómetro de Masa ESPECTROLAB 230 con electrodo de carbón bajo arco sumergido en atmósfera de argón en el Laboratorio del Taller de Fundición de la Empresa Mecánica del Níquel, Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche", Moa. La composición química del árbol se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Composición química del árbol.

C%	Si%	Mn %	P%	S%	Cr%	Mo%
0,46	0.252	0.795	0.0085	0.0021	0.151	0.039
Ni%	Al%	Co%	Cu%	Ti%	V%	W%
0,145	0.028	0.012	0,285	0,054	0,003	0,003
Pb%	Sn%	As%	Ce%	B%	Zn%	Fe%
0,001	0.009	0.01	0.005	0.001	0.002	97.82

3.7 Observación con microscopía óptica

Después de pulidas adecuadamente las muestras, se procede a la observación en el microscopio óptico. Se montan las muestras en la platina y se comienza la observación cambiando la combinación de ocular y objeto hasta encontrar la adecuada. En las figuras 3.1 (a) y (b) se observa el comportamiento de la estructura patrón en relación a la muestras de las partes por donde se rompe el árbol.

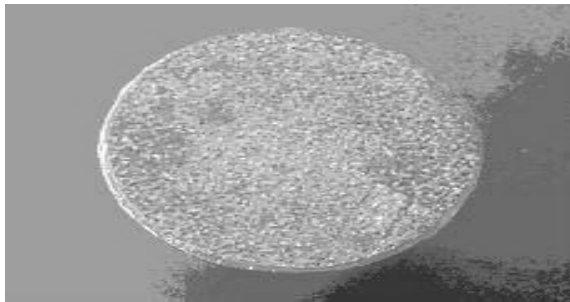


Figura 3.1. Aspecto de la zona de falla del árbol.

Observando el árbol que presenta la falla, se pudieron hacer las siguientes apreciaciones:

1. La zona de falla coincide con un cambio de sección, la cual se encuentra entre el diámetro que aloja el rodamiento y la sección donde se conecta el soplador BL-4
2. En los alrededores de la fractura no se aprecia deformación plástica, lo que nos lleva a pensar en una fractura frágil.
3. En la zona de falla se aprecia una capa superficial y no se observan marcas de playa, lo que le da espacio a una gran área de ruptura, debido a una alta concentración de esfuerzo.

3.7.1 Prueba de dureza

Las mediciones de la dureza se realizaron por el método de Rockwel (HRC), y se realizaron al menos cinco mediciones para la muestra en diferentes lugares. Para realizar este ensayo se utiliza un durómetro tipo Rocwel modelo 2018TP. Para ello se tuvo en cuenta la rotura en el cambio de sección del árbol. Para un mejor entendimiento de la medición de las diferentes zonas en la zona de falla del árbol (dureza en la periferia y en sección de corte), en la figura 3.2 se reflejan las mismas.

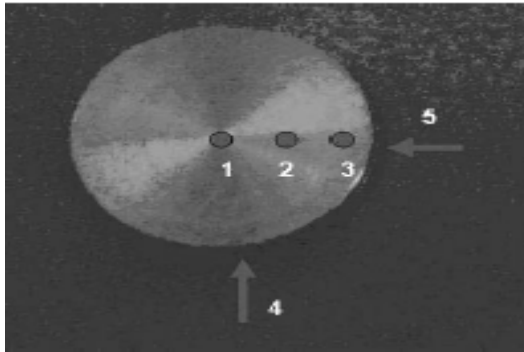


Figura 3.2. Puntos donde se toma la dureza de la muestra

En la tabla 3.2, se puede observar los resultados obtenidos para la dureza Rockwell C, en las diferentes zonas del árbol donde fueron tomadas.

Tabla 3.2. Resultados obtenidos del ensayo de dureza.

Punto de inspección	1	2	3	4	5
Dureza Rockwell C	39	43	48	51	49

De los datos obtenidos, se advierte una dureza alta en la superficie al igual que en el interior, estos son los indicios del tratamiento térmico al que fue sometido el árbol. Por la dureza que presenta hacia el interior, es posible notar que el temple superficial tuvo una gran repercusión en el interior del material.

3.8 Examen metalográfico

Este análisis metalográfico se realiza con el fin de obtener toda la información que es posible encontrar en la estructura del material, además podemos confirmar si la microestructura pertenece al material del árbol original.

La microestructura de este acero en la parte central la podemos observar en la Figura 3.3 y la de una zona muy cercana a la superficie del mismo se presenta en la figura 3.4.

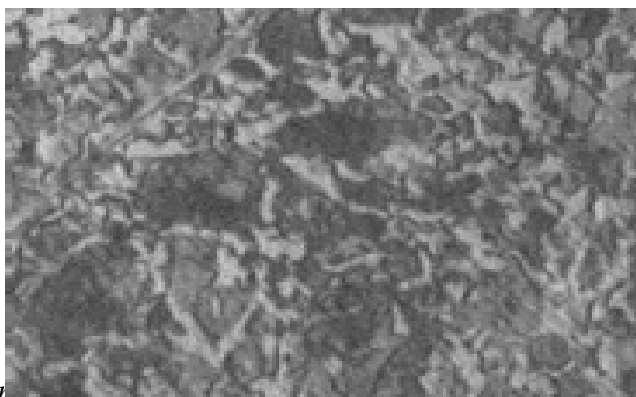


Figura 3.3. Microestructura a 200X de acero AISI 1045 templado revenido del árbol en la zona central

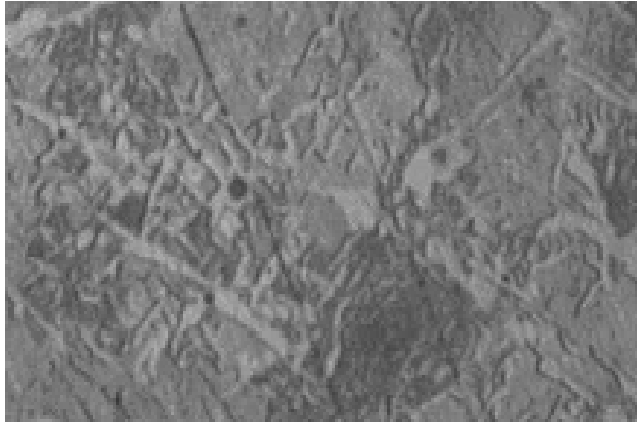


Figura 3.4. Microestructura a 200X de acero AISI 1045 templado revenido del árbol en la zona superficial.

De las fotografías expuestas en las figuras anteriores se puede concluir que la zona superficial y central de la probeta tienen una estructura martensítica, la diferencia radica en que la martensita superficial ha crecido más que la central, lo que hace que todo el material esté formado de una estructura muy tenaz y frágil.

De igual manera se observa la metalografía del material del eje cercano a la zona de falla central y la cercana a la periferia o superficial, ver figuras 3.5 y 3.6.

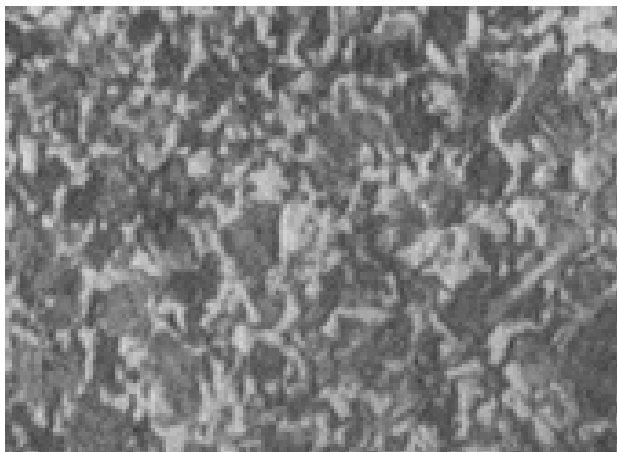


Figura 3.5. Microestructura del material del árbol fallido, zona central

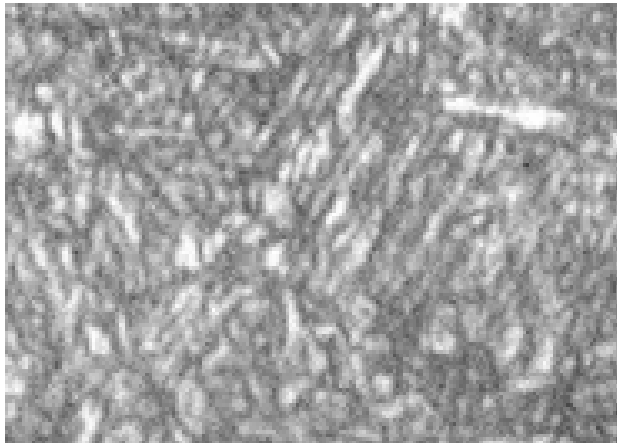


Figura 3.6. Microestructura del material del árbol fallido, zona periférica

Las microestructuras muestran un comportamiento de los granos acicular, esto demuestras que en la estructura estos granos alargados o en formas de agujas hacen una estructura más frágil en el material.

3.9 Valoración económica

Para la realización de la valoración económica del diseño se debe de tener en cuenta el costo de los rodamientos.

Costo de rodamiento 6028..... 242.50 CUC

Número de rodamientos..... 2

Costo total de los rodamientos..... 485 CUC

3.10 Impacto ambiental

La naturaleza sirve de fuente de materia prima y de energía; con la utilización de sus riquezas se contribuye la vida material de la sociedad y de su desarrollo económico. Durante las últimas décadas, la influencia de la humanidad sobre la naturaleza se ha ido incrementando en relación con el aumento de la demanda de recursos naturales. El desarrollo intensivo de la producción industrial va acompañado de considerables alteraciones ambientales. En el proceso de la actividad productiva, el hombre actúa como un factor decisivo, provocando cambios considerables en la naturaleza y alteraciones en la estructura balanceada del intercambio de sustancias en los ecosistemas naturales.

Son varios los factores ambientales envueltos durante el funcionamiento de la planta de ácido de simple contacto, pero las más importantes son: la contaminación por ruido y las consecuencias de los gases en los trabajadores. Este ruido



generado durante el funcionamiento supera en ocasiones los niveles fijados por las normas. Ocasionando así daños y molestias para las personas que laboran cerca de estos equipos. En la actualidad, en la mayoría de los países, el nivel normal no contaminante llega hasta los 90 dB, más allá de este tope deben utilizarse protectores auditivos. El ruido industrial es el deterioro producido en la capacidad auditiva debido a las condiciones laborales, esto trae consigo la pérdida temporal de la audición para luego convertirse en permanente. Actualmente existen muchos países industrializados que están invirtiendo en la protección del medio ambiente, los cuales despliegan grandes campañas de preservación y conservación, cuyo objetivo primordial es desarrollar tecnologías que tengan competitividad con los recursos nacionales de protección al medio ambiente. En nuestro país existe una protección del medio ambiental registrada en nuestra constitución; también se trabaja por preservar este medio tan necesario para la humanidad. La empresa Cde. Pedro Sotto Alba no está exento a esta batalla y se han desarrollado muchas tareas, todavía quedan deficiencias que se deben evitar como por ejemplo: que los trabajadores adopten una mayor conciencia y usen los medios protectores contra el ruido, que el personal que labora cerca de las emisiones de gases se coloquen las máscaras contra los mismos. Otra de las consecuencias es la que provoca al medio ambiente, como la formación de lluvias ácidas las cuales conllevan a la total erosión de los suelos y con ello la desaparición de distintos hábitat de animales y plantas. Teniendo en cuenta estas consecuencias hago un llamado a todos los trabajadores y personas interesadas por el Medio Ambiente y seguridad industrial de la empresa, a realizar un trabajo más fructífero para la conservación Medio Ambiental.



3.13 Conclusiones del Capítulo III

- ❖ El costo de los productos depende de las inversiones o gastos que se generan al consumir materias primas, comprar máquinas, pagar la mano de obra y el costo de vender los productos, el almacenamiento, el financiamiento, la planeación y administración, el control, el cumplimiento de los estándares y el pago de impuestos.
- ❖ Diseñar es formular un plan para satisfacer una demanda humana con el problema que tiene que estar bien definido, ya que los mismos no tienen una sola respuesta correcta en todos los casos al que se llega mediante una acción determinada o por la creación de algo que tiene realidad física.
- ❖ El rodamiento seleccionado cumplidor de las exigencias en cuanto a las características del motor es el 6028 del fabricante FAG.
- ❖ El comportamiento de la fractura es transversal.
- ❖ Dentro de las mayores afectaciones de la planta al medio ambiente se encuentra el ruido, este es un fenómeno del deterioro producido en la capacidad auditiva debido a las condiciones laborales, esto trae consigo la pérdida temporal de la audición para luego convertirse en permanente.



Conclusiones generales

- ❖ El desgaste es el resultado de una interacción superficial de naturaleza dual: atracción molecular en los límites de la adhesión y deformación mecánica en los límites del micro corte, este fenómeno tiene mayor efecto en los rodamientos de contacto plano ya que durante el proceso de rellenado aparecen en ellos la porosidad.
- ❖ Se determinó la metodología de cálculo para la realización del diseño y selección del rodamiento a emplearse en el motor 2AM3-1000, valorando dentro de la misma la selección del tipo de lubricante a emplear como parte fundamental del proceso de durabilidad de la transmisión.
- ❖ El rodamiento seleccionado cumplidor de las exigencias en cuanto a las características del motor es el 6028 del fabricante FAG.
- ❖ Dentro de los efectos negativos de la planta, durante el proceso de producción, es el ruido, el cual daña el sistema auditivo de la persona y puede provocar sordera.



Recomendaciones

- ❖ Aplicar el sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP) al sistema de transmisión en el motor 2AM3 – 1000 para evitar desgaste prematuro en el mismo
- ❖ Seleccionar la serie del lubricante según exigencia de trabajo en la transmisión.
- ❖ Buscar alternativa factiblemente económica y funcional que permitan la disminución del ruido en la planta.



Bibliografía

1. Alvarez. L, González.J. Máquina para el estudio del desgaste abrasivo en pares tribológicos. Revista construcción de maquinaria. Santa Clara, No2: 69-76, 1993.
2. Alvarez, E; G, M. Máquina para el estudio del desgaste abrasivo en pares tribológicos. Construcción de Maquinaria. UCLV. Año 20. N 2. Mayo-Agosto. 1995. p 69-76.
3. Dobrovolski, Zablensky, Mak, Radchik, Erlj. Elementos de maquinas. Editorial Mir, Moscú, 1970.
4. Fernández, G. Resistencia de materiales, (Tomo II), villa Clara, Julio. 1980
5. Tenenbaum M.M Desgaste de materiales de construcción y elemento de máquina en el desgaste abrasivo. Editorial Machinestroyeniye, 1966
6. Tubielewicz, K., Jezierski, J., Znorko, D.A., "Calculation pressures and the contact field in the contact zone of a burnishing roller and worked material", Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, No. 76, 2000, Pages 93-99, Poland.
7. Caubet, J. "Teoría y Práctica Industrial del rozamiento". España, 1971
8. Kruschov, M.M. Resistance of metals to wear by abrasion, as related to hardness. "Proceedings of Conference on Lubrication and Wear". London 55- 59. 1957.
9. Clauser, H. R. Diccionario de materiales y procesos de ingeniería. Editorial Labor S.A. Barcelona, 1985.
10. Escanaverino, J. M. Teoría y práctica del rozamiento. La Habana, 1983.
11. Guliaev, A. Metalografía. Tomo I y II. Moscú. Editorial Mir, 1978.
12. Herrera, E. Gallardo, J. Algunos casos prácticos de fallos metálicos relacionados con el desgaste. Revista de metalurgia. Madrid, Vol 22, No 4: 261-263, 1986.
13. Jeang, J. Experimental study of the effects of surface roughness on friction. Tribology transactions. Vol33 No 3: 402-410. 1990. Disponible en la World Wide Web.



14. Lipson, C. "Importancia del desgaste en el Diseño". New Jersey, 2000.
15. Martínez, F. Martínez, H. Relación entre la resistencia máxima y el desgaste abrasivo en los aceros al carbono. Revista construcción de maquinarias. Santa Clara. No 2 57-73. 1982.
16. Martínez, H. Goyos, L. Aleaciones austeníticas resistentes al desgaste y esfuerzos de impacto. Revista construcción de maquinarias. Santa Clara. No 3: 38-42. 1989.
17. Mutlon, P. Rolling contact fatigue in railway under high axis loads. Vol 144: 139-152, 1992.
18. Rodríguez, I. Metodología de cálculo de rodamientos de contacto rodante.

