



REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"

FACULTAD DE METALÚRGIA - ELECTROMECAÁNICA

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

Trabajo de diploma en opción al título de ingeniero mecánico

Título: Comportamiento microestructural de los cojinetes de contacto plano del soplador centrífugo horizontal 225 –BL4 en la Empresa Pedro Sotto Alba.

Autor: Eulicer Gómez Aldana

Tutor(s): Msc. Isnel Rodrigues Gonzáles
Msc. Tomás Fernández Columbiè
Ing. Dayanis Alcántara Borges

“ Año 50 del triunfo de la Revolución ”

Moa / 2009

Declaración de Autoridad:

Yo: Eulicer Gómez Aldana.

Autor de este trabajo de diploma y el tutor M.Sc. Tomás Fernández Columbié, declaramos la propiedad intelectual de este trabajo al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para que disponga de su uso cuando estime conveniente.

Eulises

Pensamiento:

..... Y siempre mediremos, por encima de todo un técnico y un científico no por su conocimiento, sino por el grado de humildad y modestia con que sea capaz de aportar sus conocimientos.

Fidel Castro Ruz.

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 y los MSc Tomás Fernández Columbié e Isnel Rodríguez González.

A el experimentado ing y amigo Oscar Nápoles de quien obtube apoyo y ayuda incondicionalmente.

A mis familiares que me apoyaron en los momentos de mi vida en que mas 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 revolucion, por darme la oportunidad de convertirme en profesional .

A todos

Muchas Gracias.

Dedicatoria:

Quiero dedicar este trabajo a mis familiares.

A mi madre.

A mis hijos que le sirva de ejemplo.

A la memoria de mi abuelo donde quiera que esté.

A mí querida y estimada esposa me apoyo en todo momento.

A mis amigos.

A nuestra revolución, por las posibilidades que me ofrece.

Resumen:

Este trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento microestructural de la aleación de metal patente antifricción Babbitt 83 UNS 55189. Deformado plásticamente por la rodadura del árbol. El desarrollo del mismo está sustentado sobre el diseño de un plan experimental a partir de probetas deformadas plásticamente por fusión en el cojinete.

En el análisis se tiene en cuenta las operaciones por las cuales transita el proceso como son: corte, torneado exterior, deformación propiamente dicha de las probetas, corte de las muestras, pulido y observación microscópica. A partir de las operaciones se tiene en cuenta también los consumidores energéticos como son las diferentes tipos de máquinas, salario de obrero. Teniendo en cuenta los costos financieros se realiza un análisis metodológico de la vía más económica para implementar en un método de nueva aplicación.

Los resultados de la solución garantizan el pronóstico del comportamiento microestructural de la aleación patente antifricción Babbitt 83 UNS-55189 en el cojinete de contacto deslizante para procesos de deformación plástica superficial por fricción a largos e intensos ciclos de trabajo en el equipo. Se realiza el cálculo de la lubricación del cojinete en condiciones normales de trabajo del mismo, así como la influencia del proceso en el medio ambiente y la valoración económica.

Summary:

Este trabajo tiene como objetivo analizar comportamiento microestructural de la aleación de patente antifricción Babbitt 83 U.N.s 55189. Deformado plásticamente por la rodadura del árbol. plan of the el of the el desarrollo del mismo está sustentado sobre diseño de experimental a cojinete of the el of betas of the de of party deformadas plásticamente por fusión ens.

En análisis se tiene en cuenta las operaciones por las cuales transita proceso como: corte, torneado exterior, betas of deformación propiamente dicha de las, corte de las muestras, pulido y observación microscópica. a son of party de las operaciones se tiene en cuenta también los consumidores energéticos como las diferentes tipos de maquinases, salario de obrero. Teniendo en cuenta los costos financieros se realiza análisis metodológico de la vía más económica para implementar en método de nueva aplicación.

Los resultados de la solución garantizan pronóstico del comportamiento microestructural de la aleación patente antifricción Babbitt 83 el of UNS-55189- en cojinete de contacto deslizante para procesos de deformación plástica superficial por fricción a equipo of the el of largos e intensos ciclos de trabajo en. el of Se analiza la influencia del proceso en medio ambiente, así como la valoración económica.

TABLA DE CONTENIDOS

SINTESIS	Pág.
INTRODUCCIÓN.	
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.	
1.1. Introducción.	1
1.2. Reseña Histórica de los cojinetes de contacto deslizante.	2
1.3. Clasificación de los cojinetes de deslizamiento.	3
1.4. Lubricantes para cojinetes de contacto plano.	5
1.4.1. Aceites lubricantes líquidos.	5
1.4.1.1. Aditivos empleados en los lubricantes para cojinetes.	6
1.4.2 Las grasas lubricantes.	7
1.5. Materiales empleados.	7
1.5.1 Materiales metálicos.	8
1.5.1.1. Los bronce para cojinetes.	8
1.5.1.2. Las propiedades fundamentales del bronce son.	9
1.5.1.3. Los metales Babbitt.	10
1.5.1.4. Las aleaciones de aluminio.	10
1.5.1.5. El Hierro fundido en los cojinetes.	11
1.6. Materiales no metálicos.	11
1.7. Deterioros en cojinetes de deslizamiento. Criterios de comprobación.	13
1.7.1. Cojinetes radiales en lubricación semi-límite.	13
1.7.2. Causas y mecanismo del desgaste por fatiga.	14

1.8. Control del desgaste por fatiga superficial.	15
1.9. Soldadura para reconstrucción.	16
1.10. Conclusiones del capítulo I.	17

CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Introducción.	18
2.1.1. Generalidades del proceso.	18
2.2. Análisis del material deformado por la fusión.	19
2.2.1. Análisis microestructural.	20
2.3. Análisis de fase por el diagrama estaño - antimonio.	21
2.3.1. Generalidades de diagrama de estado de la aleación de babbitt (estaño - antimonio).	21
2.4. Diseño del experimento.	22
2.4. 1. Propuesta del modelo del diseño experimental	22
2.5. Método de identificación de la microestructura de las probetas.	22
2.4.2. Herramienta de corte.	23
2.4.3. Preparación metalográfica de la probeta.	23
2.4.3.1. Selección de la muestra:	24
2.5. Corte de la probeta.	24
2.5.1. Montaje de la probeta.	24
2.5.2. Desbaste de las muestras.	25
2.5.3. Características de la máquina.	25
2.5.5. Observación con microscópica.	26
2.4.1.7 Preparación del reactivo de ataque.	27
2.4.1.8. Ataque.	27
2.5. Cálculo de lubricación del cojinete.	27
2.5.1. Metodología de cálculo para la lubricación del cojinete.	28
2.5.2. Deflexión máxima del cojinete.	28

2.5.3. Holgura mínima calculada.	28
2.5.4. Excentricidad relativa.	28
2.5.5. Velocidad periférica que actúa en el cojinete	28
2.5.6. Criterio de carga.	29
2.5.6. Coeficiente ($f\psi$).	29
2.5.8. Coeficiente ($Q\psi$).	29
2.5.9. Parámetro (A_0).	29
2.6. Caudal de aceite.	30
2.7. Holgura radial y diametral.	30
2.8. Excentricidad absoluta.	30
2.9. Presión de trabajo del cojinete.	30
2.10. Temperatura de trabajo	30
2.11. Carga de trabajo.	31
2.12. Parámetro K.	31
2.13. Factor de seguridad contra carga.	31
2.14. Conclusiones del capítulo II.	32
CAPITULO III. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y SU DISCUSIÓN	
3.1. Introducción.	33
3.2. Análisis de la elaboración de las probetas.	33
3.2.1. Selección de las muestras.	33
3.2.1.1. Corte.	34
3.2.1.2. Análisis del desbaste y pulido para la observación micrográfica.	34
3.2.1.3. Análisis del lavado y desengrasado.	35
3.2.1.4. Análisis del ataque químico.	35
3.2.1.5. Observación con microscopía óptica.	35
3.3. Parámetros de trabajo del cojinete de contacto plano.	41
3.3.1. Viscosidades a la temperatura de trabajo.	43
3.5. Impacto ambiental.	46
3.6. Conclusiones del capítulo III.	48

3.7 Conclusiones Generales.	.	.	.	.	.	.	.	.	48
3.7 Recomendaciones.	.	.	.	.	.	.	.	.	49

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXOS

<i>RECOMENDACIONES.</i>	<i>.....51</i>
<i>BIBLIOGRAFÍAS.</i>	<i>.....52 ANEXOS</i>



Pensamiento:

..... Y siempre mediremos, por encima de todo un técnico y un científico no por su conocimiento, sino por el grado de humildad y modestia con que sea capaz de aportar sus conocimientos.

Fidel Castro Ruz.



Dedicatoria:

Quiero dedicar este trabajo a mis familiares.

A mi madre.

A mis hijos que le sirva de ejemplo.

A la memoria de mi abuelo donde quiera que esté.

A mí esposa me apoyo en todo momento.

A mis amigos.

A nuestra revolución, por las posibilidades que me ofrece.



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 y los MSc Tomás Fernández Columbié e Isnel Rodríguez González.

A el experimentado ing y amigo Oscar Nápoles de quien obtube apoyo y ayuda incondicionalmente.

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

A mis amigos que siempre creyeron en mi.

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

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

A todos

Muchas Gracias.



Resumen:

Este trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento microestructural de la aleación de metal patente antifricción Babbitt 83 UNS 55189. Deformado plásticamente por la rodadura del árbol. El desarrollo del mismo está sustentado sobre el diseño de un plan experimental a partir de probetas deformadas plásticamente por fusión en el cojinete.

En el análisis se tiene en cuenta las operaciones por las cuales transita el proceso como son: corte, torneado exterior, deformación propiamente dicha de las probetas, corte de las muestras, pulido y observación microscópica. A partir de las operaciones se tiene en cuenta también los consumidores energéticos como son las diferentes tipos de máquinas, salario de obrero. Teniendo en cuenta los costos financieros se realiza un análisis metodológico de la vía más económica para implementar en un método de nueva aplicación.

Los resultados de la solución garantizan el pronóstico del comportamiento microestructural de la aleación patente antifricción Babbitt 83 UNS-55189 en el cojinete de contacto deslizante para procesos de deformación plástica superficial por fricción a largos e intensos ciclos de trabajo en el equipo. Se realiza el cálculo de la lubricación del cojinete en condiciones normales de trabajo del mismo, así como la influencia del proceso en el medio ambiente y la valoración económica.



They sum up :

This work aims at analyzing behavior microestructural of the patent- metal alloy antifriction Babbitt 83 UNS 55189. Deformed plasticly for the rolling of the tree. The development of the same one be sustained envelope the design of experimental plan starting from test tubes deformed plasticly by fusion in the pad.

In the analysis the process like music takes into account the operations that he transits for itself: Cut, nicely rounded exterior, actual deformation of the test tubes, cut of signs, polishing and microscopic observation. Starting from the operations the energetic consumers like music are taken into account also them different kinds of hardware, worker's salary. Taking financial costs into account the metodológico of more economic manner to implement in a method of new application accomplishes an analysis itself.

The aftermath of solution guarantee the prognosis of behavior microestructural of the patent alloy antifriction Babbitt 83 UNS 55189 in the pad of sliding contact for processes of plastic superficial deformation for friction to largo and intense cycles of work in the team. The calculation of lubrication of the pad in normal conditions of work of the same one, the same way that the influence of process in the middle acclimatize and the economic evaluation are accomplished.



TABLA DE CONTENIDOS

SINTESIS	Pág.
INTRODUCCIÓN.	
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.	
1.1. Introducción.	1
1.2. Reseña Histórica de los cojinetes de contacto deslizante.	2
1.3. Clasificación de los cojinetes de deslizamiento.	3
1.4. Lubricantes para cojinetes de contacto plano.	5
1.4.1. Aceites lubricantes líquidos.	5
1.4.1.1. Aditivos empleados en los lubricantes para cojinetes.	6
1.4.2 Las grasas lubricantes.	7
1.5. Materiales empleados.	7
1.5.1 Materiales metálicos.	8
1.5.1.1. Los bronces para cojinetes.	8
1.5.1.2. Las propiedades fundamentales del bronce son.	9
1.5.1.3. Los metales Babbitt.	10
1.5.1.4. Las aleaciones de aluminio.	10
1.5.1.5. El Hierro fundido en los cojinetes.	11
1.6. Materiales no metálicos.	11
1.7. Deterioros en cojinetes de deslizamiento. Criterios de comprobación.	13
1.7.1. Cojinetes radiales en lubricación semi-límite.	13
1.7.2. Causas y mecanismo del desgaste por fatiga.	14
1.8. Control del desgaste por fatiga superficial.	15
1.9. Soldadura para reconstrucción.	16
1.10. Conclusiones del capítulo I.	17
CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1. Introducción.	18
2.1.1. Generalidades del proceso.	18



2.2. Análisis del material deformado por la fusión.	19
2.2.1. Análisis microestructural.	20
2.3. Análisis de fase por el diagrama estaño - antimonio.	21
2.3.1. Generalidades de diagrama de estado de la aleación de babbitt (estaño - antimonio).	21
2.4. Diseño del experimento.	22
2.4. 1. Propuesta del modelo del diseño experimental	22
2.5. Método de identificación de la microestructura de las probetas.	22
2.4.2. Herramienta de corte.	23
2.4.3. Preparación metalográfica de la probeta.	23
2.4.3.1. Selección de la muestra:	24
2.5. Corte de la probeta.	24
2.5.1. Montaje de la probeta.	24
2.5.2. Desbaste de las muestras.	25
2.5.3. Características de la máquina.	25
2.5.5. Observación con microscópica.	26
2.4.1.7 Preparación del reactivo de ataque.	27
2.4.1.8. Ataque.	27
2.5. Cálculo de lubricación del cojinete.	27
2.5.1. Metodología de cálculo para la lubricación del cojinete.	28
2.5.2. Deflexión máxima del cojinete.	28
2.5.3. Holgura mínima calculada.	28
2.5.4. Excentricidad relativa.	28
2.5.5. Velocidad periférica que actúa en el cojinete	28
2.5.6. Criterio de carga.	29
2.5.6. Coeficiente ($f\psi$).	29
2.5.8. Coeficiente ($Q\psi$).	29



2.5.9. Parámetro (A0).	29
2.6. Caudal de aceite.	30
2.7. Holgura radial y diametral.	30
2.8. Excentricidad absoluta.	30
2.9. Presión de trabajo del cojinete.	30
2.10. Temperatura de trabajo	30
2.11. Carga de trabajo.	31
2.12. Parámetro K.	31
2.13. Factor de seguridad contra carga.	31
2.14. Conclusiones del capítulo II.	32
CAPITULO III. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y SU DISCUSIÓN	
3.1. Introducción.	33
3.2. Análisis de la elaboración de las probetas.	33
3.2.1. Selección de las muestras.	33
3.2.1.1. Corte.	34
3.2.1.2. Análisis del desbaste y pulido para la observación micrográfica.	34
3.2.1.3. Análisis del lavado y desengrasado.	35
3.2.1.4. Análisis del ataque químico.	35
3.2.1.5. Observación con microscopía óptica.	35
3.3. Parámetros de trabajo del cojinete de contacto plano.	41
3.3.1. Viscosidades a la temperatura de trabajo.	43
3.5. Impacto ambiental.	46
3.6. Conclusiones del capítulo III.	48
3.7 Conclusiones Generales.	48
3.7 Recomendaciones.	49



CAPITULO I. MARCO TEÓRICO. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

1.1 . Introducción

La producción de ácido sulfúrico reviste gran importancia para el cumplimiento y desarrollo de los planes productivos en Empresa niquelífera CTE Pedro Sotto Alba en Moa. Siendo este el producto químico principal para la lixiviación del mineral laterístico procedente de las minas. Industria que además tiene un gran peso en el comportamiento económico y social de nuestro país.

La labor ininterrumpida de las unidades de producción de ácido sulfúrico demanda un alto gasto de energía por constar con un equipamiento de alto consumo eléctrico. Estas unidades que funcionan con fuertes agentes químicos tienen entre sus complejidades que no deben ser paradas con frecuencia, ni por períodos relativamente largos, porque al detener las mismas disminuyen la temperatura de los gases corrosivos que quedan en el interior de los sistemas, (horno ductos, calderas sistema de catálisis y sopladores), llegando al punto de rocío de los mismos, formándose ácidos débiles que corroen el sistema, contaminan el medioambiente, crea desestabilización en las demás plantas del proceso porque se detiene la producción de vapor que genera la unidad, que se utiliza en el proceso para lixiviar el mineral y disminuyen el ritmo productivo de la empresa.

Una de las causas más frecuentes de paradas de las unidades de ácido sulfúrico es por rotura (fundición del metal babbitt) en los cojinetes de contacto deslizante de la chumacera de los sopladores centrífugos de aires, codificado como 225 BL 1,2 y 4. Equipos de vital importancia encargados de extraer de la atmósfera todo el aire que demandan las unidades para la producción de ácido sulfúrico.

En el presente capítulo se establece como objetivo:

- Establecer el marco teórico de la investigación analizando los antecedentes y la bibliografía necesaria para una comprensión adecuada del tema de los cojinetes de contacto plano bajo elevadas cargas

1.2. Reseña Histórica de los cojinetes de contacto deslizante.

Según Franke, (2009) inventor del rodamiento antifricción en 1934, lo hizo con 2 objetivos, conseguir mover grandes cargas y ser muy flexible.

Desde la antigüedad el hombre se ha preocupado por la pérdida de potencia en las máquinas y el desgaste de las piezas en movimiento relativo. Pero aún hoy, en la actualidad, la investigación de estos fenómenos por su complejidad multifactorial tiene gran vigencia. En el presente trabajo nos proponemos abordar el estudio de los cojinetes de deslizamiento o de contacto plano, como elementos de máquinas que se emplean para guiar árboles y ejes, permitiendo que giren las piezas libremente y soportando las cargas que actúan sobre éstos. 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. No obstante el inconveniente asociado con las pérdidas por rozamiento, el campo de aplicación de los cojinetes de deslizamiento es amplio. Ellos pueden ser empleados:

- Para guiar árboles con elevada precisión;
- En máquinas con vibraciones, fuertes sacudidas o golpes, como las prensas;
- Para trabajar en medios agresivos, por ejemplo el agua salada.
- Donde no puedan existir elementos contaminantes, como la industria farmacéutica o la industria de alimentos;
- En apoyos de árboles acodados, ej. los cigüeñales;
- En árboles rápidos, ya que la vida útil de estos cojinetes no depende totalmente del número de ciclos de carga;
- En árboles extrapesados, donde colocar un rodamiento sería caro, ya que debe fabricarse a pedido;
- Para mecanismos de marcha lenta y poca Responsabilidad
- En montajes con dimensiones diametrales muy pequeñas.

Debe ser señalado que, con relación a los rodamientos, los cojinetes de deslizamiento necesitan mayores dimensiones longitudinales para lograr capacidades de carga semejantes. Además los cojinetes de deslizamiento presentan aumentos progresivos de las holguras debido al desgaste por lo que requieren de un cuidadoso diseño y en ocasiones de complejos sistemas de lubricación, para garantizar un correcto funcionamiento.

Los cojinetes de rodadura (**González, 2004**) posiblemente sean las piezas más normalizadas a escala internacional, lo que no ocurre con los cojinetes de deslizamiento, que por su sencillez pueden no ser fabricados de forma centralizada, sin embargo en el mundo existen firmas dedicadas a la construcción y comercialización de cojinetes lisos. Muchos de los fabricantes prestigiosos de rodamientos se dedican también a la construcción y venta de cojinetes planos, ya sean enterizos, ranurados, partidos o de configuraciones complejas, hechos de materiales apropiados para los más variados usos, como la industria automotriz, las construcciones navales, los ferrocarriles, los equipos electrodomésticos, médicos y de la construcción o de la industria en general.

1.3. Clasificación de los cojinetes de deslizamiento

Los cojinetes de deslizamiento pueden clasificarse para su estudio, atendiendo a diferentes criterios: dirección de las cargas, condiciones de lubricación, forma, relación longitud - diámetro y tipo de rozamiento, entre otros aspectos. A continuación le presentamos los dos criterios de clasificación fundamentales:

❖ Clasificación según la dirección en que soportan las cargas:

- Radiales
- Axiales
- Radio-axiales

❖ Según las condiciones de lubricación:

- **Hidrodinámica:** las superficies del cojinete y el árbol están separadas totalmente por una cuña de lubricante que se forma debido al movimiento relativo entre ambas

superficies, y depende de las características del movimiento, de la magnitud y dirección de la carga en el cojinete y de las propiedades del lubricante empleado.

- **Hidrostática:** se logra la separación de las superficies garantizando un suministro lubricante a presión en la zona de contacto.
- **Límite:** se produce el contacto entre las crestas o superficies del cojinete y el muñón en la zona de contacto.

Según la figura 2.1 se observa la curva de Stribeck, la cual se tiene en cuenta para comprender mejor el tipo de lubricación que se puede establecerse en el cojinete (González, 2004),

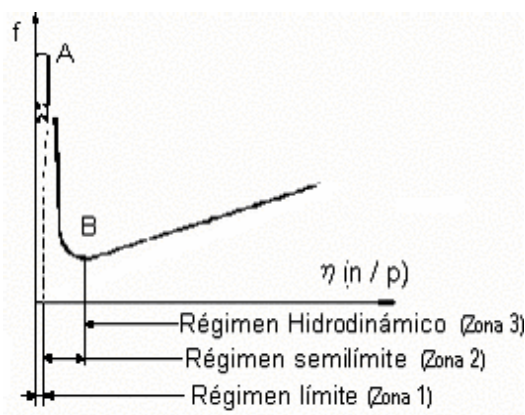


Figura 1. Curva de Stribeck para cojinetes de contacto plano

En el gráfico aparece la dependencia entre el coeficiente de fricción f y el parámetro de Stribeck $\eta(n/p)$.

Donde:

f : La viscosidad dinámica o absoluta del aceite que se emplea como lubricante.

p : La carga por unidad de área proyectada.

n : la frecuencia de rotación de la superficie en movimiento.

Zona 1 -. Lubricación en régimen límite. El coeficiente de fricción es alto, no varía con el cambio del parámetro de Stribeck, este depende de las propiedades de las superficies que se encuentren en contacto y del lubricante presente, excepto la viscosidad.

Zona 2 -. Definida entre los puntos A y B, Tiene mayor espesor la película de lubricante, que en la zona 1, sin embargo se mantienen en contacto las crestas de las micro irregularidades superficiales. En estas condiciones, se establece el régimen llamado semi-límite, el coeficiente de fricción disminuye al igual que la temperatura en la medida que se exista mayor cantidad de lubricante entre las superficies.

Zona 3 -. Lubricación en régimen hidrodinámico. En el punto B la capa de lubricante tiene el mínimo espesor posible para que no se toquen las crestas, y en estas condiciones se logra que el coeficiente de fricción sea mínimo. Para elevados valores del parámetro de Stribeck, que propician espesores de capa mayores, se producen aumentos del coeficiente de fricción, ya que además existe rozamiento entre las capas de lubricantes (González et al, 2004)

1.4. Lubricantes para cojinetes de contacto plano.

La función del lubricante es disminuir las pérdidas por rozamiento y el desgaste de las superficies de los elementos en movimiento que componen el cojinete. El mismo es también importante para disipar el calor que se produce durante el funcionamiento, trasladar los productos del desgaste y proteger las piezas contra la corrosión. De los lubricantes empleados en estas piezas los más conocidos son los aceites y las grasas.

1.4.1. Aceites lubricantes líquidos

Los aceites son lubricantes líquidos, que sustituyen el rozamiento exterior de los cuerpos sólidos por el rozamiento entre las capas interiores del fluido y son capaces de evacuar grandes cantidades de calor. Comúnmente se emplean aceites derivados del petróleo, aunque para la lubricación de los cojinetes pueden emplearse otros líquidos en los cuales es necesario que trabaje el cojinete, como el agua salada en los timones de las embarcaciones. En ese caso el árbol y el cojinete deben fabricarse de un material adecuado al medio, árboles de acero inoxidable y cojinetes de madera o caucho. En los casos de cojinetes que trabajan en lubricación hidrodinámica es importante dedicar gran atención a la viscosidad, propiedad que indica el rozamiento interior de los líquidos, es decir la resistencia al desplazamiento

relativo de las capas del fluido. Características propias de los lubricantes también son: temperatura de inflamación, temperatura de congelación, untuosidad etc.

1.4.1.1. Aditivos empleados en los lubricantes para cojinetes

Para reducir la dependencia de la viscosidad con la temperatura, aumentar la resistencia de la película de aceite o mejorar otra de las cualidades de los lubricantes se emplean los aditivos. Los aditivos son compuestos químicos cuya función es mejorar las propiedades naturales de los lubricantes, estos pueden ser aceites de origen animal o vegetal, compuestos sulfurosos, de cloro o flúor. Entre las funciones atribuidas a los aditivos deben ser señaladas su acción como limitadores del deterioro del lubricante a causa de fenómenos químicos ocasionados por las condiciones del entorno o su actividad, la protección de la superficie lubricada contra la agresión de contaminantes y mejorar las propiedades físico químicas del lubricante.

Los aditivos pueden ser clasificados en:

- Aditivos que actúan sobre las propiedades físicas.
- Aditivos que actúan sobre las propiedades químicas.
- Aditivos que modifican propiedades físico-químicas.

Entre los aditivos que actúan sobre las propiedades físicas de los lubricantes tenemos, los que mejoran el índice de viscosidad (polisobutenos, copo limeros de aquil metacrilato) y los depresores del punto de congelación (polímeros, copo limeros de aquil metacrilato, poliacrilamidas). Para mejorar las propiedades químicas se emplean los antioxidantes (diliofosfatos de zinc, fenoles bloqueados), anticorrosivos (diliofosfatos de zinc, ditiocarbonatos metálicos) y antiherrumbre (sulfoncitos, aminas, ácidos grasos, sulfonatos).

Los aditivos que modifican las propiedades físico químicas son: detergentes (jabones de ácidos, grasas superiores, sulfonatos), dispersantes (copolímeros amida epóxica, inida ésteres-fosfórico, polímeros hidrocarbonatados), aditivos de extrema presión (azufre, cloro y fósforo), de untuosidad (ácidos animales y vegetales), además antiespumantes y emulgentes.

1.4.2. Las grasas lubricantes

Otro lubricante muy empleado es la grasa, que se clasifica como semisólido o plástico. Se obtiene a partir de aceites derivados del petróleo con la adición de espesantes. Tiene la ventaja de que los conjuntos en rozamiento, mantienen capas de lubricantes relativamente gruesas en superficies verticales, son comúnmente usados en conjuntos de difícil acceso para la relubricación, que requieren sellaje, y en cojinetes abiertos, poseen buena resistencia a la humedad. Se emplean en el 95% de las máquinas eléctricas, y comúnmente trabajan a temperaturas menores que 80°C. También son bastante conocidos los lubricantes sólidos como el disulfuro de molibdeno y el grafito coloidal. Trabajan satisfactoriamente en condiciones de temperaturas muy bajas o muy altas, en vacío, ambientes químicamente activos, o limpios, y para pequeños movimientos.

1.5. Materiales empleados

Los materiales para cojinetes deben ser seleccionados atendiendo a las condiciones de trabajo, el tipo de lubricación, el lubricante que emplea y los materiales del árbol que se apoya en él. Los árboles por lo general son más caros y complejos de elaborar, como es el caso del cigüeñal, y por eso se fabrican de materiales más resistentes que los cojinetes. Los árboles y ejes, para garantizar un buen funcionamiento del cojinete, deben tener alta dureza y buen acabado superficial. Los aceros de medio carbono, con un adecuado tratamiento térmico, garantizan esas propiedades y son muy usados en la construcción de árboles y ejes (pueden tener una dureza de 40 a 50 HRC). Para algunas aplicaciones puede emplearse hierro fundido de alta resistencia. Cuando se necesitan árboles del menor diámetro posible, pueden emplearse aceros aleados, que con tratamiento térmico o termoquímico, puede alcanzar una dureza superficial de 55 a 60 HRC.

Para completar el par de fricción, proporcionando buenas condiciones de trabajo el material del cojinete debe cumplir con la mayoría de las siguientes condiciones:

- Elevado poder antifricción (Bajo coeficiente de rozamiento en el material del muñón para evitar grandes pérdidas de potencia y elevación de temperatura en el cojinete).

- Alta resistencia al desgaste.
- Alta resistencia a la fatiga.
- Buena adaptabilidad funcional (esto permite reducir las presiones locales debido a las deformaciones elásticas y errores de fabricación).
- Alta conductividad térmica (posibilita la disipación de mayor cantidad de calor al exterior del cojinete).
- Bajo coeficiente de dilatación térmica (garantiza menores variaciones de las holguras durante el funcionamiento).
- Bajo módulo de elasticidad.
- Buena maquinabilidad.
- Capacidad de fundirse con facilidad.
- Alta resistencia a la corrosión.
- Capacidad de formar y restituir películas de lubricante en su superficie.

Es muy importante tener en cuenta el costo del cojinete que comprende fundamentalmente dos aspectos, los gastos en la fabricación del elemento y los del material.

Dentro de los materiales más empleados en la construcción de cojinetes de contacto planos se encuentran los metálicos y no metálicos

1.5.1. Materiales metálicos

Los materiales metálicos son empleados en una amplia gama de cojinetes de contacto plano particularmente cuando existen elevadas cargas y condiciones especiales de funcionamiento, dentro de los materiales más usados están:

- Bronce
- Babbitt:
- Aleaciones de aluminio:
- Hierro fundido:

1.5.1.1. Los bronce para cojinetes

Los bronce son aleaciones de cobre, que puede contener como elementos aleantes el estaño, el plomo, y en pequeñas cantidades el fósforo y níquel. Es típico en para los cojinetes de deslizamiento una aleación de un 12 a un 15% de estaño en caso de

aplicaciones con presiones y velocidades medias. En aplicaciones de altas presiones a velocidades medias es usual el empleo de una aleación de plomo (bronce al plomo).

1.5.1.2. Las propiedades fundamentales del bronce son:

- . Alta resistencia a la fatiga.
- . Punto de fusión relativamente alto.
- . Mayor dureza que los babbitt y menor adaptabilidad funcional.
- . Requieren buena lubricación.

Sus pocas posibilidades de adaptación funcional, en comparación con otros materiales para cojinetes, hacen que sea peligrosa la aparición de partículas de desgaste duras en el lubricante que pueden provocar desgaste adhesivo.

Pueden fabricarse casquillos de bronce al estaño, para cargas altas y velocidades medias, o al bronce se le puede adicionar plomo para disminuir el desgaste en los árboles, aunque esto hace a la aleación menos resistente a la corrosión.

También son usados cojinetes de bronce sinterizados y auto lubricados impregnados en aceite, con un 20 o 30% de aceite. Estos materiales hacen al cojinete silencioso, fiable y con pocos requerimientos de mantenimiento, pero a su vez son extremadamente frágiles.

Aleaciones de cobre estaño y plomo (Sn 1.5%, Pb 22%, Cu el resto) son empleadas en la actualidad como recubrimientos de los casquillos de acero en los cojinetes. Estas capas pueden ser posteriormente cubiertas por aleaciones de estaño y plomo con un bajo porcentaje de cobre (Sn 10%, Cu 2%, Pb el resto ó Sn 10%, Cu 5%, Pb el resto), para conferirle las virtudes del metal blanco. Sobre el casquillo de acero laminado se deposita por fundición la capa de aleación Pb-Sn-Cu, con una barrera de níquel depositada por electrodeposición, al igual que la capa de deslizamiento Pb-Sn-Cu, y la protección de aleación Pb-Sn. Estas aleaciones tiene buena conductividad térmica, buena capacidad de carga (18MPa) con velocidades máximas de aplicación del orden de 12m/s. Deben emplearse con eje de durezas superiores a 250 HB y en condiciones de lubricación hidrodinámicas.

1. 5.1.3. Los metales Babbitt

Los Babbitt son aleaciones con base estaño y plomo, también llamadas metal blanco. Se emplean como revestimiento debido a su poca rigidez. Poseen como Propiedades, que lo perfilan con muy buenos para condiciones extremas:

- Baja dureza.
- Gran plasticidad.
- Buena susceptibilidad funcional.
- Baja resistencia a la fatiga.
- Bajo punto de fusión.
- Buena conductividad térmica
- Buena capacidad para retener películas de lubricantes.

Se considera el babbitt B83 (GOST), que contiene 81-84 % de estaño, 11% de antimonio, 6% de cobre, un excelente metal antifricción y resistente a las cargas de choque. Las partículas de desecho de los cojinetes de babbitt son blandas (González, 2004).

Para lograr buena resistencia a la compresión en cojinetes de babbitt es necesario disminuir el espesor de la capa depositada, por ejemplo para babbitt base estaño la resistencia a la compresión en cojinetes con un capa de 0.5 mm de espesor es de 8.3 MPa y para 0.1 mm de 29.4 MPa. En cojinetes para motores se recomiendan espesores de 0.25 a 0.4 mm para babbitt con base plomo o estaño.

1.5.1.4. Las aleaciones de aluminio

Las aleaciones de aluminio pueden emplearse como elementos de aleación, estaño, níquel, cobre, silicio y cadmio. Requiere de árboles extremadamente pulidos. Se emplean de acuerdo con las siguientes propiedades:

- Alta resistencia a la fatiga.
- Alto coeficiente de expansión térmica (Debe trabajar a $t < 150^{\circ}\text{C}$).
- Alta conductividad térmica.

Las aleaciones de aluminio con cinc y magnesio tienen aplicación en la industria automotriz donde hay altas cargas y velocidades. Aleados con manganeso, níquel, cromo, antimonio, son de propiedades semejantes al babbitt.

El aluminio con 6,5 estaño, níquel, silicio y cobre es apropiado para altas velocidades y cargas, pueden servir como recubrimiento o como pieza enteriza. Aleaciones de aluminio pueden emplearse como recubrimientos, ejemplo: Al Sn Cu (Estaño 17,5%-22,5, Cobre 0,7-1,5, y el resto de Aluminio). Esta aleación se lamina sobre un casquillo de acero, con una capa intermedia de aluminio puro para aumentar la adherencia de ésta al acero, puede alcanzar capacidades de carga 8% mayores que los cojinetes con recubrimientos de metal blanco, presenta también mayor resistencia a la fatiga, aunque no tan influenciada por el espesor de la capa antifricción y la temperatura como en aquellas. Su incrustabilidad y conformabilidad son adecuadas aunque menores que las del metal blanco. El acabado superficial puede ser de hasta 0.4 μm , semejante a las del metal rosado.

1.5.1.5. El Hierro fundido en los cojinetes.

Hierro fundido Se emplean en cojinetes lentos (1 a 2 m/s) y poco cargados, los árboles deben tener una dureza superior a los cojinetes y buen acabado superficial, deben trabajar con lubricación abundante. En este material, las inclusiones de grafito le proporcionan un lubricante complementario, estos garantizan como propiedades:

- Poca adaptación funcional.
- Alta dureza superficial.
- Alta fragilidad (poca resistencia a cargas de choque).

Los materiales basados en mezclas de carbono y grafito presentan buenas propiedades autolubricantes, son químicamente y dimensionalmente estables, y de alta resistencia al desgaste, se emplean en condiciones difíciles de lubricar o limpias. Son frágiles y soportan altas temperaturas. Ejemplos: HY22, HY49 (marcas comerciales)

1.6.1. Materiales no metálicos

Los materiales no metálicos se emplean por su buena adaptabilidad. Los desechos del desgaste son blandos, tienen la posibilidad de ser lubricados con una gran diversidad de fluidos, no tienen afinidad química con los materiales de los árboles, en muchas ocasiones tienen pequeño módulo de elasticidad y su termo conductividad es baja.



Los materiales no plásticos se puede usar en cojinetes enterizos de poco tamaño (González Rey, 2004), con bajas presiones o en capas delgadas como revestimiento de casquillos metálicos, en este caso mantiene las buenas propiedades antifricción, logra un aumento de la capacidad de carga, y el respaldo le facilita la unión por interferencia al alojamiento. Puede usarse con una capa de bronce entre el acero y el teflón, lo que le proporciona buena conductividad térmica al cojinete. Se trabaja también con resinas termoestables, por ejemplo: A11, amianto impregnado con resina fenólica (alta resistencia a la compresión). Estos materiales son empleados en cojinetes aplicados en cojinetes de grúas, transportadores y en los sistemas de dirección de vehículos. Puede adicionársele grafito, para mejorar sus propiedades antifricción.

Entre los materiales no metálicos puede ser mencionado el teflón (politetrafluoretileno),

La A19 es una resina termoestable con lana de amianto en forma de paño presenta estabilidad dimensional a altas temperaturas.

También se fabrican cojinetes, con resina fenólica y paño de algodón, que poseen alta resistencia a la compresión, y a la abrasión, pueden lubricarse con aceite, grasa agua o sin lubricar,

El material conocido en el mercado como WA82, hecho de resina cresílica con hilo de amianto que se arrolla como una bobina, para cojinetes de gran diámetro, tiene buena estabilidad dimensional frente al agua, baja resistencia a la compresión, puede absorber las partículas de residuo protegiendo la otra superficie en contacto, y puede lubricarse con gran variedad de líquidos. Se emplea en timones de barco.

También pueden usarse como materiales no metálicos la madera dura y la goma. La madera se emplea desde hace mucho tiempo, y en la actualidad puede encontrarse en cojinetes que trabajan en medios agresivos, por ejemplo en timones y hélices de embarcaciones, pueden ser enterizos o en forma de tablillas insertadas radialmente en el material base. Los cojinetes de goma se fabrican por vulcanización en caliente, pueden ser enterizos con ranuras de lubricación o por piezas para garantizar una buena refrigeración y la salida de partículas abrasivas. Se garantiza que la superficie

de fricción sea de mayor dureza que el resto del cojinete para aumentar la resistencia al desgaste de esa zona. Los cojinetes de goma se caracterizan por ser silenciosos y amortiguar vibraciones.

1.7. 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.

1.7.1. 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) siguientes condiciones:

- 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).

1.7.2. Causas y mecanismo del desgaste por fatiga.

El análisis del fenómeno de la fatiga superficial empleando un modelo constituido por una aspereza esférica rígida deslizándose sobre una superficie deformable (Figura 1.2) muestra una distribución compleja de las tensiones; apareciendo una zona de compresión delante de la aspereza y una zona de tracción detrás de ella.

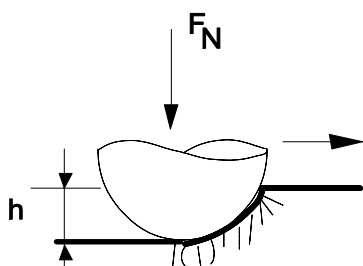


Figura 1.2. Modelo de la unión friccional.

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. (Álvarez, 1995)

Algunos autores (Callister, 1999, Caubet, 1971, Martinez, 2006). 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.

La fatiga que se origina desde una grieta subsuperficial; ocurre debido a alta concentración de tensiones en puntos o planos defectuosos, esta grieta se propaga paralela a la superficie hasta brotar en la misma. (Pero-Sanz, 2000)

En la figura 1.3 se muestra las superficies de elementos de maquinas que han fallado a la fatiga por contacto.



Figura 1.3. Microestructura típica de una pieza desgastada por fatiga.

1.8. Control del desgaste por fatiga superficial.

La picadura de los elementos de maquinas constituye el desgaste predominante si se tiene una adecuada lubricación y se ha realizado un buen diseño. La picadura tiene su génesis en la fatiga de las capas superficiales produciéndose en ellas las denominadas *grietas de fatiga*. (Smith, 2001)

En dependencia de las condiciones de carga, de la calidad de los materiales, del tipo de movimiento relativo, del espesor de la película lubricante, del régimen de lubricación, las grietas se pueden producir tanto en la superficie como en la profundidad.

Se establece por lo general que para superficies con alta resistencia al contacto; producto del endurecimiento superficial debido a tratamientos o recubrimientos superficiales; las grietas de fatiga aparecen en las subcapas (en la profundidad), mientras que en superficies con baja resistencia al contacto las grietas a la fatiga aparecen en la superficie, característica de las superficies blandas sometidas a bajas cargas. (Martínez, 2006, Álvarez, 1995)

Desde el punto de vista del tipos de movimiento se plantea que en el caso de rodamiento puro las grietas aparecen en las subcapas, mientras que para el movimiento rodamiento-deslizamiento; característico de los dientes de los engranes; debido a la fricción de deslizamiento las grietas de fatiga tienden a producirse en la superficie a medida que el coeficiente de fricción aumenta.

1.9. Soldadura para reconstrucción

Rodríguez y Burgos, 1983. La soldadura para reconstrucción, como su nombre indica, tienen como fin fundamental el devolver las características geométricas y dimensionales a la pieza desgastada. Por esta razón, se trata de establecer la mayor similitud entre el material de aporte y el material de base, buscando mantener, lo más uniforme posible, su propiedades, el régimen de trabajo preferente persigue una buena dilución y penetración en el material base, lo que se logra con la mayor cantidad de calor sobre la pieza que se va a recuperar.

En dependencia del volumen de la pieza y cuando la magnitud del desgaste es muy grande, se hace necesaria, en ocasiones,, la combinación del recargue y la reconstrucción en una misma solución de recuperación, esto puede estar determinado por fines económicos o tecnológicos ya que de ordinario los materiales para el recargue son de un costo superior o presentan limitaciones en el número de capas en que pueden ser aportados, en estos casos, deberán ser ajustados los

parámetros del régimen dentro de cada proceso de acuerdo con los fines seleccionados.

En otras ocasiones, cuando la magnitud del desgaste es muy pequeña se logra tanto la reconstrucción como la protección de la superficie ante de un deterioro dado, con el mismo material de recargue.

1.10. Conclusiones del capítulo I

- ❖ La bibliografía consultada, aporta información sobre el comportamiento del babbitt UNS – 55189, pero en ninguna de ella se refleja el comportamiento del mismo cuando se deforma producto a la fusión por fricción .
- ❖ Debido a las características de trabajo a que están sometidos los sopladores centrífugos estos sufren intensamente los efectos del desgaste principalmente en los elementos que están sometidos a rodadura, como es el caso de los babbitt de los cojinetes de contacto deslizante de dichos equipos.
- ❖ Los cojinetes de contacto plano están sometidos simultáneamente a diferentes tipos de desgaste, pero los que mayor influencia tiene en su deterioro son: el desgaste por fatiga, el desgaste adhesivo y el desgaste abrasivo.

CAPITULO II. MATERIALES Y METODOS

2.1. Introducción.

Cuando dos cuerpos que tienen superficies curvas se presionan uno contra otro, el contacto en punto o línea se transforma en contacto de área, y el esfuerzo desarrollado en ambos cuerpos es tridimensional. Estos problemas de esfuerzo de contacto surgen en los siguientes casos: el contacto entre una rueda y un riel o entre una leva y su seguidor o contraleva, en el ajuste de dientes de engranes y en la acción de cojinetes de rodamiento. Las fallas comunes que ocurren en la superficie son grietas o cuarteaduras, hendiduras o desprendimiento de partículas del material.

El caso más general de esfuerzo de contacto ocurre cuando cada cuerpo en contacto tiene un doble radio de curvatura; esto es, cuando el radio en el plano de rotación es diferente del radio en un plano perpendicular, y ambos planos pasan por el eje de la fuerza del contacto.

La deformación por fusión del metal babbitt en los cojinetes de contacto deslizante del soplador 225 – BL 4. En la planta de ácido sulfúrico de la Empresa Pedro Sotto Alba, ocurre cuando los valores de temperaturas entre el árbol y el babbitt del cojinete exceden los (150°C). , que es el límite de la resistencia a la deformación para chumaceras recubierta de este material en condiciones de operación.

En este capítulo se plantea como objetivo:

1. Evaluar las propiedades del metal babbitt UNS – 55189 desde el punto de vista espectral y microestructuralmente una vez fundido en condiciones de operación, así como el espesor de la película de aceite ideal para trabajar en un régimen continuo sin que sufra deformación el cojinete.

2.1.1. Generalidades del proceso.

Para lograr el establecimiento y la aplicabilidad de un procedimiento general, no solo basta con la elección del material y su valoración física, química y estructural. También se requiere tener en cuenta la teoría de la toma de decisiones y el flujo de información asociado a los cálculos ingenieriles y criterios tecnológicos en los procesos de deformación por fusión de material.

De las conclusiones del capítulo I del presente trabajo, se desprende la necesidad de formular e introducir dicho procedimiento con vista a lograr resultados confiables que estén avalados científicamente, ya que en las bibliografías revisadas no se encontraron métodos de proceder declarados para abordar el estudio y la obtención de la microestructura en piezas deformadas por este tipo de fenómeno mecánico. Se establece el diseño del plan experimental y se describen las normas y procedimientos del proceso de experimentación. Al mismo tiempo se fundamentan las propiedades a investigar y se establecen los parámetros que caracterizan el comportamiento mecánico microestructural del babbitt fundido por trabajo del equipo.

2.2. Análisis del material deformado por la fusión.

Se selecciona para los experimentos veintiuna probetas de metal babbitt tomada de seis cojinetes de contactos deslizante fundido durante el régimen de operación del soplador 225 – BL4, acoplados a una chumacera (Ver anexo 1), una probeta del metal babbitt en estado natural, una probeta del metal babbitt soldada en el casquillo de hierro y dos probetas extraídas de dos cojinetes maquinados en el torno pero sin acoplarse al sistema del equipo. Esta selección obedece a que con el análisis microestructural de estas probetas se pudo determinar el comportamiento en la microestructura del babbitt en estado natural, y como comienza a variar la misma una vez que se suelda en el casquillo de hierro, luego de ser maquinado en el torno y finalmente cuando se funde en operación. En la tabla 2.1 aparece la composición química del babbitt

Tabla. 2.1. Composición química del babbitt UNS-55189.

N0	Composición química	%
1	Estaño	(83.0 - 85.5) %
2	Antimonio	(7.5 – 8.5) %
3	lead	(0.35) %
4	Cobre	(7.5 – 8.5) %
5	Hierro	(0.08) %
6	Arsénio	(0.10) %
7	Bismuto	(0.08) %
8	Zinc	(0.005) %
9	Aluminio	(0.005) %
10	Cadmium	(0.05) %

En el análisis de los resultados se confirma que el material a emplear en los experimentos es babbitt UNS-55189. Con una estructura metalográfica estaño, antimonio bronce, de (83.0 - 85 %, 7.5 – 8.5, 7.5 – 8.5% respectivamente)

2.2.1. Análisis microestructural:

Para la observación se empleó un microscopio óptico binocular marca Novel NJF – 120A ubicado en el laboratorio de ciencias de los materiales en el ISMMM Moa, este está dotado con un portaobjetos giratorio e iluminador. La observación se realiza empleando distintas combinaciones de objetivo y ocular para obtener las imágenes más precisas. La observación de cada superficie a analizar es necesario fotografiarla para procesar la información y para esto se utilizó una cámara instalada mediante el hardware IMI.VIDEOCAPTURE.exe que refleja la fotografía en el computador. En la figura 2.1 se puede observar la estructura metalográfica patrón del babbitt UNS-55189

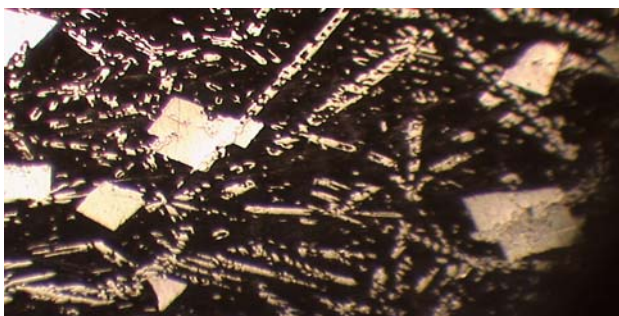


Figura 2.1. Estructura patrón del Babbitt UNS-55189 (40X)

En la figura 2.2, se observa la imagen del microscopio empleado en la observación de las muestras.



Figura 2.2. Microscopio Óptico NOVEL modelo NIM-100.

2.3. Análisis de fase por el diagrama estaño - antimonio.

Para facilitar la comprensión de todas las transformaciones que se producen en los cristales de estaño técnico se emplea el diagrama estaño - antimonio (Figura 2.3), el cual permite determinar las transformaciones de fases del estaño en dependencia de la temperatura de tratamiento al que es sometido.

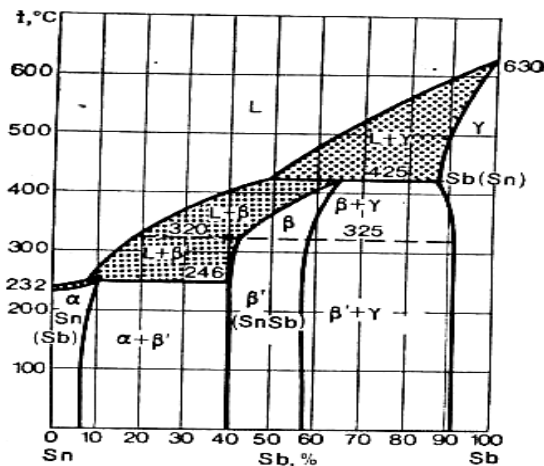


Figura. 2.3. Diagrama de estado estaño – antimonio (Sn-Sb).

2.3.1. Generalidades de diagrama de estado de la aleación de babbitt (estaño– antimonio)

El antimonio y el estaño se diferencian por su densidad. Por eso las aleaciones de estos metales son susceptibles a una considerable lubricación. Para evitar este defecto en el babbitt se introduce el cobre. El cobre forma con el antimonio una combinación química del tipo Cu_3Sn . Esta combinación posee una temperatura de fusión más alta y se cristaliza en primer lugar formando dendritas ramificadas que dificultan la lubricación de los cristales cúbicos β' (SnSb). Además los cristales Cu_3Sn forman en el babbitt incrustaciones sólidas que aumentan complementariamente la resistencia al desgaste del casquillo, en la figura se muestra la microestructura del babbitt B-83. El campo negro representa la masa plástica de solución sólida α , los cristales claros de forma cuadrada son las combinaciones de SnSb y los cristales en forma de estrella o agujas alargadas son las combinaciones Cu_3Sn .

El babbitt B-83 que contiene una gran cantidad de estaño de alto costo se emplea solamente para revestimiento de los casquillos y de los cojinetes de la máquina de gran potencia. Para otros tipos de cojinetes se emplean los babbitt en los cuales una gran parte del estaño está sustituida por plomo.

2.4. Diseño del experimento.

2.4. 1. Propuesta del modelo del diseño experimental.

Para la confirmación de la hipótesis científica se tuvo en cuenta muestras del cojinete en varios estados de trabajo, se escogieron muestras del material deformado, maquinado, rellenado, estado natural.

2.5. Método de identificación de la microestructura de las probetas.

Con el objetivo de dar un mejor entendimiento a la hora de identificar la microestructura de las probetas, se establece un sistema de números y letras en correspondencia en el orden en que fueron elaboradas y observadas. Este sistema clasificación nos permitirá hacer una evaluación de las condiciones en que cada una de ellas presenta distorsionamiento o anomalías. La tabla 2.2 recoge el sistema para la clasificación de las probetas.

Tabla 2.2. Sistema clasificación de las probetas.

NO	Tipos de muestras.	Cant	Análisis por probetas
0.1	Metal en estado natural.	1	1
0.2	Metal soldado (casquillo-hierro).	1	2
0.3	Metal maquinado (casquillo-hierro).	2	2
1	Metal fundido durante el trabajo (1)	2	1
2	Metal fundido durante el trabajo (2)	2	1
3	Metal fundido durante el trabajo (3)	2	1
4	Metal fundido durante el trabajo (4)	2	1
5	Metal fundido durante el trabajo (5)	2	1
6	Metal fundido durante el trabajo (6)	2	1
7	Metal fundido durante el trabajo (7)	2	1
8	Metal fundido durante el trabajo (8)	2	1

Considerando que la validación de las normas y procedimientos y el nivel de acreditación de los laboratorios y equipamiento que se utilizaran para desarrollar las mediciones que permiten una alta precisión con muy pocas posibilidades de

que se introdujeran errores sistemáticos; lo cual implicaba el número mínimo de réplicas que garantizará la confiabilidad de los resultados. (Hernández, 1887)

2.4.2. Herramienta de corte

Para seleccionar la herramienta de corte se debe tener presente la magnitud del trabajo a realizar, tipo de trabajo, así como las características de la pieza a elaborar (laminada, fundida, forjada).

La herramienta utilizada en el corte de las probetas fue una segueta, para evitar un aumento significativo de la temperatura en las muertas que pudiera tener efecto negativo en la microestructura. Al realizar estos cortes quedan en la superficie una gran cantidad de rayas que es necesario eliminarlas.

2.4.3. Preparación metalográfica de la probeta.

La metalografía microscópica estudia las características estructurales y de constitución de los productos metalúrgicos con la ayuda del microscopio óptico, para relacionarlos con sus propiedades físicas y mecánicas. La parte más importante de la metalografía es el examen microscópico de una probeta pulida y atacada empleando diferentes aumentos.

El examen microscópico proporciona información sobre la constitución del metal o aleación, pudiéndose determinar características tales como forma, tamaño, y distribución de grano, 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. Montaje y preparación de la muestra.
4. Ataque de la muestra.

5. Análisis microscópico.

6. Obtención de microfotografías.

2.4.3.1. Selección de la muestra:

La localización de la parte que va a ser estudiada debe hacerse de tal modo que represente todo el metal o puede ser el sitio de la falla de una pieza o el límite entre una soldadura y el metal base.

El tamaño adecuado de la probeta debe ser tal que pueda sostenerse con la mano durante su preparación y debe estar en función del área de trabajo del microscopio a utilizar.

2.5. Corte de la probeta.

El corte de la probeta puede realizarse con sierra mecánica, cortadora de cinta o disco abrasivo, teniendo la precaución de evitar el calentamiento que puede ocasionar alteraciones estructurales para ello se empleará líquido refrigerante para extraer el calor generado en el proceso de corte y eliminar los posibles cambios estructurales internos que el tratamiento mecánico puede ocasionar.

Se realizan los corte acoplado cada una de las piezas en un tornillo de banco y previamente se colocó en las mordazas del tornillo de banco dos pedazos de madera para evitar que se deformara la superficie del metal babbitt lo que puede introducir posible cambio en la microestructura del mismo. Se comenzaron a realizar los cortes con una sierra manual a intervalo para evitar el calentamiento del metal.

2.5.1. Montaje de la probeta.

El montaje de las muestras 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.

El montaje consiste en comprimir un plástico fundido sobre la muestra metálica y dejar enfriar el sistema bajo presión hasta la solidificación del plástico o resina sintética.



2.5.2. Desbaste de las muestras

Es la operación siguiente al corte y al montaje de la probeta en la pulidora 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.

Conviene emplear un papel nuevo para cada probeta, los papeles usados se emplean para finalidades específicas porque sus partículas abrasivas desgastadas tienden a producir distorsión del metal superficial.

También debe tenerse en cuenta que la superficie opuesta de la probeta debe ser paralela para facilitar el soporte en el microscópio.

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.

2.5.3. Características de la máquina.

Voltaje. 250 V

Corriente. 2.5 Amp

Número de revoluciones. . . . 300 -1 000 rev/min

Potencia del motor. **5 HP**

2.5.4. Pulido:

Tiene por objeto, eliminar las rayas finas producidas en la última operación del 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 de 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, Kanvas, 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.

La presión a aplicar sobre la probeta, depende de la dureza de la aleación y debe disminuirse a medida que avanza el pulido, deberá ser tal que se logre hacer desaparecer en unos pocos minutos las rayas del último papel (600) cuidando de no excederse en la presión por el peligro de desgarramiento del paño.

Debe lavarse la probeta en un chorro de agua caliente, secar con la ayuda de un secador, sin tocar la cara pulida, enjuagarla con alcohol y secarla finalmente con aire seco o caliente. Observar en el microscópio a 100 aumentos; si persisten las rayas provenientes del desbaste en el último papel, continuar con el pulido en la forma ya descrita, todo el tiempo que sea necesario para que éstas desaparezcan. La combinación adecuada de estas variables, permitirá alcanzar un adecuado pulido, aunque difícilmente se logre evitar algo de distorsión; para eliminar esta última, no queda otro recurso que el de ataque y pulido alternados.

2.5.5. Observación con microscópica:

Permite reconocer la presencia de inclusiones no metálicas como sulfuros, silicatos, aluminatos, óxidos, microporosidades. Microgrietas, y grafito. Antes de atacar la probeta debe desengrasarse con alcohol y secarse con aire frío o caliente.

2.4.1.7 Preparación del reactivo de ataque:

Se prepara en un recipiente de cristal, estos se emplean en correspondencia con lo que se quiera obtener en la observación microscópica, además la proporción del reactivo debe suministrarse dosificadamente. Las proporciones de los reactivos en cuestión aparecen reflejados en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Reactivos de ataque para el metal babbitt

NO	Reactivos	Proporciones
1	Cloruro de hierro(FeCl_2)	10g
2	Ácido clorhídrico (HCl)	2cc
3	Agua destilada (H_2O)	95 cc

2.4.1.8. 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 tiene la probeta sumergida un segundo, 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 1 - 5 minutos a la temperatura ambiente, 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.

2.5. Cálculo de lubricación del cojinete.

La lubricación es la sustancia que introducida entre superficies en movimiento relativo entre sí, reduce la fricción entre las mismas y los efectos correspondientes (desgaste, calentamiento y elevación de la temperatura de las superficies).

El Cojinete que permite la rotación del árbol, por fricción directa entre ambos o por la interposición entre los mismos de una sustancia generalmente líquida y 'ad hoc' llamada lubricante; verificándose un movimiento de deslizamiento entre el árbol y el cojinete, directo si no existe lubricante o indirecto si el mismo existe (el árbol se desliza sobre la 'maza' del lubricante y esta sobre el cojinete).

2.5.1. Metodología de cálculo para la lubricación del cojinete.

Para el cálculo de la lubricación del cojinete se tendrá en cuenta las condiciones de trabajo del mismo, los parámetros a calcular se harán según Dobrobolkis, 1983

2.5.2. Deflexión máxima del cojinete.

Este cálculo permitirá establecer el pandeo que existe entre el árbol y el cojinete.

$$Y_{piv} = \frac{1,6.Y_{arb}.l}{L}; \mu m. \quad (2.1)$$

Donde:

Y_{piv} = Pandeo en el apoyo; μm

Y_{arb} = Deflexión máxima del árbol; μm .

L = Distancia entre apoyo; (819.5) mm.

l = Longitud de contacto entre el árbol y el apoyo (0.1013); mm.

2.5.3. Holgura mínima calculada.

Espesor de la película de aceite que se encuentra entre el árbol y el cojinete

$$h_{min\ cal} = \xi(Rz_1 + Rz_2 + Y_{piv}); \mu m. \quad (2.2)$$

Donde:

$h_{min\ cal}$ = Holgura mínima de aceite; μm

ξ = Coeficiente de seguridad del cojinete.

Rz_1 = Altura de las irregularidades del cojinete; μm

Rz_2 = Altura de las irregularidades del árbol; μm

2.5.4. Excentricidad relativa.

$$X = 1 - \left[\frac{2.h_{min}}{d.\psi} \right] \quad (2.3)$$

Donde:

x = Excentricidad relativa

Ψ = Holgura relativa ($0.8 \times 10^{-3} \cdot v^{0.25}$)

d = Diámetro de empalme entre el cojinete y el árbol (1.25)mm

2.5.5. Velocidad periférica que actúa en el cojinete

$$V = \frac{\pi.d.n}{60}; m/s. \quad (2.4)$$

Donde:

V = Velocidad periférica que actúa en el cojinete; m/s

 $\pi = \text{Constante.}$

d = Diámetro del empalme entre el cojinete y el árbol (125); mm

n = Revoluciones por minutos; (3600)rev/min

2.5.6. Criterio de carga.

[illegible]

Donde:

Φ = Criterio de carga.

d= Diámetro de empalme entre el cojinete y el árbol (1.25)mm

$\Psi = \text{Holgura relativa } (0.8 \times 10^{-3} \cdot v^{0.25})$

2.5.7. Coeficiente ($f\psi$).

$$f\psi = 0,15 + \left[1,92 \cdot (1,119 - X) \cdot \left[1 + \left[2,31 \cdot \left[\frac{d}{l} \right]^2 - (1,052 - X) \right] \right] \right] \dots \quad (2.6)$$

Donde:

f_{ψ} = Coeficiente

2.5.8. Coeficiente (Q_{ψ}).

$$Q\psi = 0,285 \cdot (0,2035 + X) \cdot \frac{0,072 \left[\frac{l}{d} \right]^2 + 1,05 - X}{0,433 \cdot \left[\frac{l}{d} \right]^2 + 1,05 - X} \quad (2.7)$$

Donde:

Q_{ψ} = Coeficiente

2.5.9. Parámetro(A0).

$$A_0 = \frac{6E - 6(\phi \cdot f \psi \cdot n)}{\left[Q \psi + \left[\frac{\pi}{\psi \cdot V} \right] \right] \cdot [19,11 - \psi^2]} \quad (2.8)$$

Donde:

A₀= Parámetro

2.6. Caudal de aceite.

$$Q = Q \Psi \cdot \Psi \cdot V \cdot l \cdot d \quad (2.9)$$

Donde:

V= viscosidad cinemática del lubricante.

QΨ= coeficiente

2.7. Holgura radial y diametral.

$$\psi = \frac{2\delta}{d} \quad (2.10)$$

Donde:

δ= Holgura radial

2.8. Excentricidad absoluta.

$$e = \delta - h_{\min} \quad (2.11)$$

Donde:

e= excentricidad absoluta.

2.9. Presión de trabajo del cojinete.

$$P = \frac{R}{l \cdot d} \quad (2.12)$$

Donde:

P= presión de trabajo sobre el cojinete

R= carga sobre el cojinete

2.10. Temperatura de trabajo

$$t_{\text{trab}} = t_{\text{ent}} + \Delta t \quad (2.13)$$

Donde:

t_{trab}= temperatura de trabajo del lubricante.

t_{ent}= Temperatura de entrada del lubricante.

Δt= variación de la temperatura del lubricante.

2.11. Carga de trabajo.

$$\phi = \frac{P.\eta^2}{\mu.V.l} \quad (2.14)$$

Donde:

Φ = Carga de trabajo.

V= viscosidad cinemática del lubricante.

μ = Viscosidad dinámica

2.12. Parámetro K

$$\phi_{19,11} \left[\frac{k.\eta^2}{\mu.n} \right] \quad (2.15)$$

Donde:

Φ = Criterio de carga.

μ = Viscosidad dinámica.

n = Revoluciones por minutos; (3600)rev/min.

2.13. Factor de seguridad contra carga.

$$ns = \frac{P}{R} \quad (2.16)$$

Donde:

ns= Factor de seguridad contra carga.

P= Carga que soporta el cojinete.

R= Carga sobre el cojinete.



2.14. Conclusiones del capítulo II

- ❖ La metodología de cálculo expuesta permite la realización del calculo de lubricación del cojinete, permitiéndose con esta, poder determinar la holgura adecuada de la película de lubricante que actuará entre el árbol y el cojinete para lograr la fricción necesaria posible entre los elementos en cuestión.
- ❖ La realización de los ensayos anteriormente señalados permite obtener una información detallada acerca de la composición química y la microestructura del material analizado. Además permiten establecer el comportamiento microestructural del Babbitt deformado por la fusión durante el trabajo.
- ❖ Los métodos de investigación utilizados se complementan con el empleo de una actualizada base experimental, tecnologías y equipamiento que garantizan la precisión y fiabilidad a los resultados.

CAPITULO III. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y SU DISCUSION:

3.1. Introducción.

El análisis de estos resultados permite evaluar el comportamiento del material Babbitt UNS deformado por la fusión del mismo al aumentar la temperatura entre el árbol y el cojinete.

En éste capítulo se exponen los resultados derivados del trabajo experimental, y a partir de los mismos, las regularidades que describen del comportamiento microestructural del Babbitt UNS fundido durante el trabajo, sometido a la acción de las cargas por rodadura que genera el árbol sobre el cojinete al deslizarse en las condiciones descritas en los experimentos. Así mismo se revela a partir del análisis de la lubricación ideal para este equipo (soplador centrífugo 225-BL – 4), el comportamiento de la holgura de la película de aceite en el momento de deterioro del cojinete de contacto plano.

El objetivo del capítulo es:

1. Realizar la valoración crítica de los resultados y a través de ella, explicar los fundamentos científicos que dan solución al problema planteado a partir de la interpretación de las regularidades observadas.

3.2. Análisis de la elaboración de las probetas.

3.2.1. Selección de las muestras.

Para el análisis de las muestras estas fueron seleccionadas teniendo en cuenta diferentes factores como son:

1. **muestra patrón del metal en estado natural:** La selección se realizó a partir de la necesidad de tener una muestra comparativa con relación a los cambios que pudiesen existir después de analizar las muestras en diferentes condiciones de trabajo.

2. **Muestra del metal soldado en el casquillo de hierro:** La base del Babbitt es Ac del tipo AISI 1045, por lo que se hace necesario valorar la adherencia del metal antifricción después del proceso de soldadura. La base del Babbitt es base estaño.

3. **Muestra del metal maquinado:** Selección de muestras que, después de ser soldada y maquinado puede ser que existan defecto de soldadura y de acritud.

4. Muestras del metal fundido durante y después del trabajo: La selección de estas muestras dependerá de:

- ✓ Condiciones de cargas.
- ✓ Zonas de fricción entre el árbol y el cojinete.
- ✓ Zona de lubricación.

3.2.1.1. Corte.

La probeta se prepararon con una cierra manual por lo que la dimensiones de las probetas oscilaron entre 10 y 30 mm de longitud y espesor de 2 – 5 mm. Se prepararon según norma ASTM E 3-95.

Para realizar el corte las muestras se sujetaron en un tornillo de banco, asegurándose la colocación de madera en ambos laterales para evitar distorsionamiento, los cortes se realizaron al aire, con abundante refrigeración, con el objetivo de no alterar la temperatura del babbitt, y con un Zigzagado estable para lograr una superficie con la menor cantidad posible de rugosidad superficial. El babbitt UNS, es un material de base estaño por lo que es relativamente blando y permite buena maquinabilidad lográndose un buen acabado superficial en el corte.

3.2.1.2. Análisis del desbaste y pulido para la observación micrográfica.

Teniendo en cuenta las características de las probetas en cuanto al espesor de las mismas, el montaje se realizó en un dispositivo de fibra previamente maquinado, con el objetivo de lograr con la mayor uniformidad posible en el desbaste y pulido.

En el desbaste primeramente se obtuvo una superficie plana y semipulida, mediante el empleo de la máquina pulidora y papeles abrasivos del tipo No 150, 400, 430 y 600 (ISO 9001), variando la granulometría del mismo al ser aplicadas a la pieza de trabajo, desde la más gruesa a la más fina, montando la lija sobre una placa de vidrio, cambiando el sentido del lijado 90° al pasar de un pliegue a otro de manera que se elimine la capa de metal distorsionado y deslizado dejado por el anterior. Al concluir de pasar el papel abrasivo más fino se realizó la operación conocida como pulido fino, en el que se empleó la pasta abrasiva conocida comercialmente como "Pasta GOI", añadida sobre discos provistos de paños o motas, hasta que se logró una superficie pulida.

Por último las muestras se pasaron en una pulidora metalográfica marca MONTASUPAL (ubicada en el laboratorio de Ciencia de los Materiales del ISMM), para lograr el acabado final, en ella se utilizó un paño de fieltro grueso usando como sustancia abrasiva el óxido de cromo.

3.2.1.3. Análisis del lavado y desengrasado: Una vez pulida las probetas se lavaron con agua destilada, y secada con papel de filtro y finalmente se volvieron a lavar con tetracloruro de carbono eliminando todo vestigio de grasa y pastas de pulir, posteriormente fueron sumergidas en acetona para eliminarle la humedad.

3.2.1.4. Análisis del ataque químico: Se realizó 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 por fusión.

Para el ataque químico de las probetas se creó una mezcla compuesta por: ácido clorhídrico 100%, cloruro de hierro, agua destilada.

Sé empleo como reactivo de ataque una mezcla en las siguientes proporciones.

- ✓ El cloruro de hierro al 100% (5g).
- ✓ Ácido clorhídrico (2cc).
- ✓ Agua destilada (95cc).

Esta mezcla se resalta los diversos constituyentes estructurales y el contorno de los granos del Babbitt UNS. Pone en manifiesto las formas de los granos de las aleaciones (estaño – antimonio) y (cobre – antimonio) manteniéndose blanco el color de los granos.

3.2.1.5. Observación con microscopía óptica

Para la observación se empleó un microscopio óptico binocular marca Novel NJF - 120A, ubicada en el laboratorio de ciencias de los materiales en el ISMM de Moa, este está dotado con un portaobjetos giratorio e iluminador vertical Novel este está dotado de una cámara instalada mediante el hardware IMI.VIDEOCAPTURE.exe que refleja la fotografía en el computador. La observación se realiza empleando distintas combinaciones de objetivo y ocular de 40,100, 400 y 800X para obtener las imágenes mas precisas.

Para colocar las probetas en el microscopio se montaron en un dispositivo con plastilina que permitió una nivelación adecuada de estas.

El análisis metalográfico consistió en la observación e identificación de las características de la estructura metalográfica en las probetas de muestra de cada cojinete, una de la zona de fricción entre el árbol y el cojinete y la otra de la zona donde comienza la lubricación del Babbitt UNS.

Fueron observadas probetas deformadas en el centro, y sin deformación en los bordes, de acuerdo con el diseño de observación expuesto en el capítulo anterior en el epígrafe 2.5.5., con un rango de aumento de 100X. En la figura 3.1(a) se observa el comportamiento microestructural del Babbitt patrón con respecto a la figura 3.1 (b), muestra soldada en el casquillo.

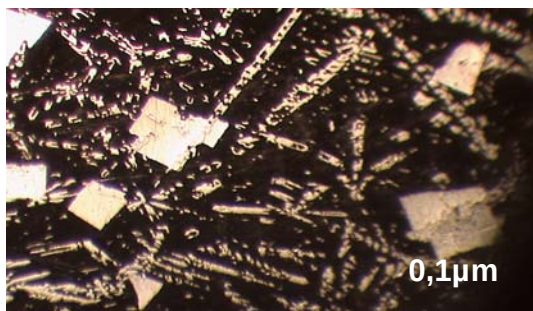


Figura 3.1 (a) Muestra patrón a 100 X

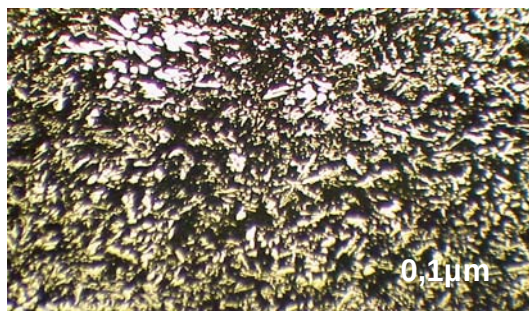


Figura 3.1 (b) Muestra casquillo soldado a 100 X

En la figura 3.1 (a) se observa una microestructura de cristales en forma de estrella, (cobre antimonio), y en forma granular (estaño antimonio). El cobre forma con el antimonio una combinación química del tipo (Cu_3Sn) . Estas combinaciones poseen una temperatura de fusión más alta y se cristaliza en primer lugar, formando dendritas ramificadas que dificultan la licuación de los cristales cúbicos β , los cristales (Cu_3Sn) . Forman en el Babbitt incursiones sólidas que aumentan complementariamente la resistencia al desgaste del casquillo. Los cristales en forma granular forman una base de estaño antimonio (SnSb), la matriz granular estaño antimonio es tenaz y plástica y su tendencia a la rotura por fatiga es menor. El campo negro representa la masa plástica de solución sólida α de antimonio en el estaño.

La matriz de esta estructura según el diagrama Sn-Sb se obtiene a 232°C .

En la figura 3.1 (b) se observa una estructura con matriz estrellada, pero de menor tamaño producto del calentamiento por encima de 630°C , demostrando que cuando se excede el límite de temperatura en estos tipos de aleaciones su resistencia decae considerablemente ya que los cristales se estiran en formas de agujas (estructura acicular) haciendo menos resistente el material a la fricción, además se observa también poros e inclusiones metálicas que provocan el agrietamiento.

Durante el proceso de maquinado después de fundido, el metal adquiere otra estructura. En las figuras 3.1 (a) muestra patrón con respecto a la figura 3.2 (b) se puede observar el comportamiento microestructural.

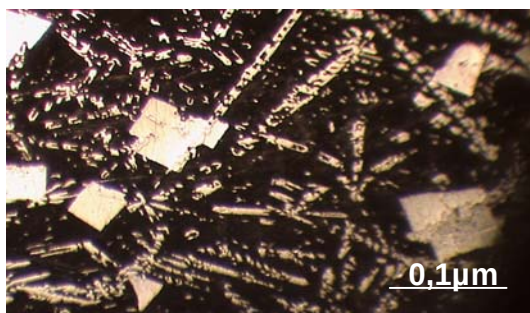


Figura 3.1 (a) Muestra Babbitt patrón 100x

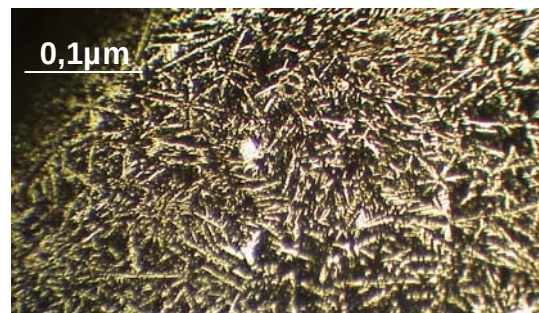


Figura 3.2 (b) Muestra Babbitt maquinado 100x

En esta figura puede observarse con mayor claridad el predominio de dentrita en forma de estrella característico de un metal que ha sufrido una tercera transformación por temperatura y disminución de su espesor. Además se observan ralladura en su superficie que son originadas por defectos en el proceso de maquinado, en el cual existe acritud aunque sea a pequeña escala.

En las figuras 3.1 (a) muestra patrón con relación a la figura 3.3 (b) muestra del metal fusionado por el trabajo se observa el comportamiento microestructural.

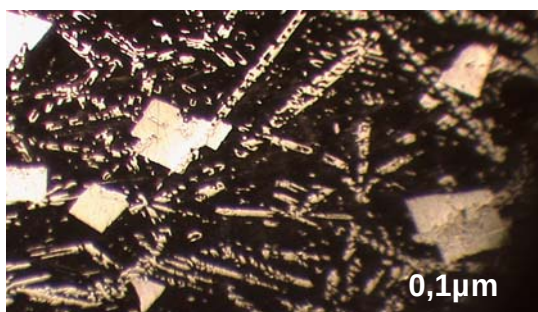


Figura 3.1 (a) Muestra Babbitt patrón 100x

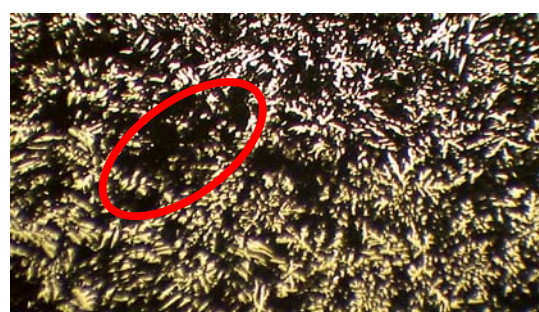


Figura 3.3 (b) Muestra Babbitt fusionado durante el trabajo 100x

En la probeta 3.3 (b), podemos observar el predominio de cristales en forma de aguja o estrella, propio de la combinación (cobre estaño) en la aleación, se atribuye el predominio de estos cristales a que la combinación de (Cu_3Sn), entre sus propiedades tiene mayor resistencia a la fricción y temperatura, de ahí que los cristales de estaño antimonio (Sn-SB) en esta probeta de metal fusionado por el trabajo aparezcan disminuido o mezclado cristales de estaño con la masa plástica negra que no es más que la combinación de estaño en el antimonio.

Buscando garantizar mejor funcionamiento del cojinete de contacto plano, se realizó la fundición en un casquillo de bronce, como metal antifricción y que sirviera como material adhesivo en la capa de Babbitt. En la figura 3.4 (b) se observa la microestructura de esta aleación.

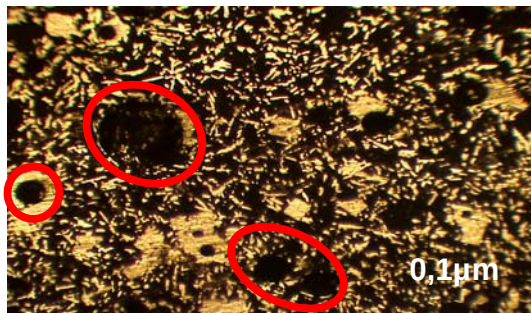


Figura 3.4 Muestra casquillo de bronce revestido con Babbitt 100x

Esta muestra fue fundida sobre un casquillo de Bronce buscando una mayor adherencia de la aleación antifricción, como puede observarse el ensayo no fue efectivo puesto que el Bronce le transmitió impurezas adicionales al babbitt hasta el punto que zonas como los granos de las diferentes combinaciones que no es común observar incrustaciones fueron afectados. Se observan grietas y poros profundos, así como una estructura estrellada. El equipo laboró poco tiempo con esta innovación quedando fundidos el material antifricción.

Considerando el número de revoluciones y las condiciones de trabajo del equipo, se tomaron muestras de otros casquillos para valorar la incidencia del desgaste y la fricción sobre el mecanismo, se pudo determinar que en otros cojinetes del mismo tipo, que trabaja en el soplador y que son restablecidos por el mismo método presentan problemas en su microestructura, lo que se puede determinar que el método empleado por soldadura oxiacetilénica para la recuperación de

estos elementos no es la más apropiada, ya que a través de la misma se eleva la temperatura de fusión de estos metales y aparecen impurezas indeseables que afectan la función antifricción de estos materiales.

En la figura 3.5 se puede observar el comportamiento microestructural de un cojinete de contacto plano retirado por el desgaste durante el trabajo.

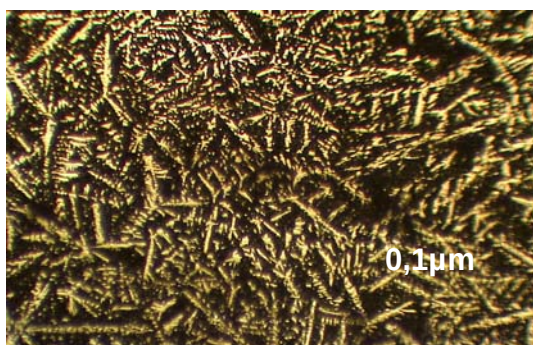


Figura 3.5 Muestra del Babbitt fundida durante el trabajo.

En esta muestra podemos observar un compactamiento de las dendritas en forma de estrellas o agujas alargadas producto de la fusión por temperatura durante el trabajo de la aleación antifricción, donde los cristales de estaño antimonio se unieron por la fusión a la masa plástica de antimonio en la aleación.

Se tomaron muestras de un cojinete de contacto plano (figura 3.6), el cual no se había retirado de servicio, pero que según las vibraciones y el aumento de la temperatura el equipo estaba presentando problemas.

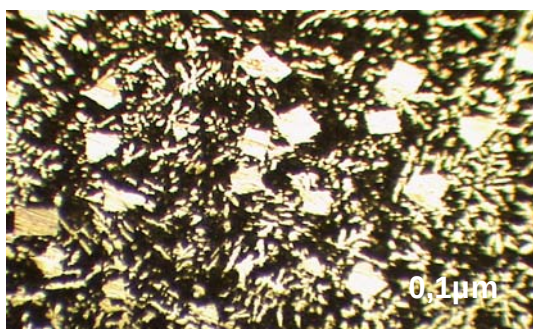


Figura 3.6. Muestra Babbitt antes de ser retirado de servicio 100x

En esta figura se encuentra representado el típico fenómeno de fusión del metal antifricción por juego holgural, donde el metal no pierde completamente su propiedades microestructurales, porque la temperatura aun no ha llegado a valores relativamente alto pero ha excedido la temperatura de trabajo (150°C),

pero sin embargo ya la holgura establecida para el ajuste se va aumentando y el soplador no funciona adecuadamente.

Otro defecto que se puede observar en el cojinete es la fundición por agrietamiento (figura 3.7), que limita la funcionabilidad del par tribológico.

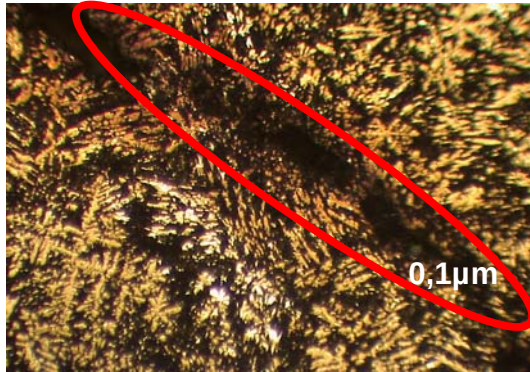


Figura 3.7 Muestra Babbitt con agrietamiento 100x

En esta figura podemos observar el fenómeno fusión por agrietamiento del metal en la superficie de trabajo, este tipo de fusión es por defecto netamente mecánico y ocurre al aumentar el juego holgural entre el cojinete y el árbol, cuando esto ocurre aumenta el pandeo entre el pivote y el árbol, resultando dañado con mayor frecuencia el pivote que fue diseñado como elemento fusible en el par tribológico, aunque en estos caso muchas veces el árbol se desalinea y hay que balancearlo.

En la figura 3.8, se muestra el comportamiento de la microestructura del metal Babbitt, el cual ha sufrido desgaste y transformaciones térmicas durante el trabajo.

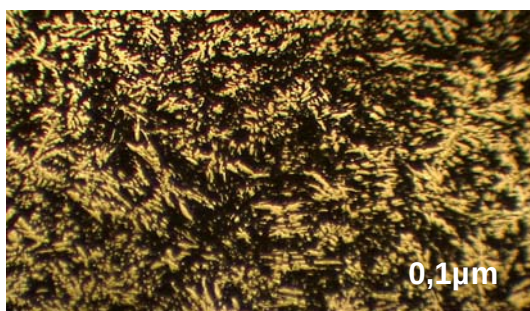


Figura 3.8 Muestra Babbitt desgastado 100x

En esta probeta se muestra nuevamente el típico fenómeno de fusión del metal por fricción, se observa además la disminución del tamaño de los granos provocado por el trabajo del árbol sobre el mismo.

Se analizó una muestra del metal Babbitt, que pertenece a la zona de lubricación del cojinete y el árbol (figura 3.9)

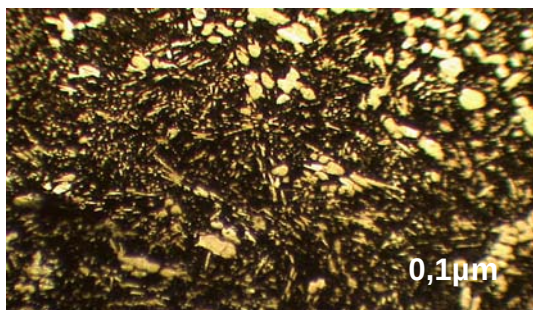


Figura 3.9 (k) Muestra Babbitt de la zona de lubricación 100x

En esta figura se observa la zona de entrada de lubricación de una muestra de metal fundido durante el trabajo, como puede apreciarse a la entrada del lubricante la microestructura de la aleación permanece casi inalterable su microestructura, puesto que al entrada la temperatura no se eleva por encima de los valores de trabajo, sin embargo si se muestran cambios en relación con la muestra patrón obtenida para el desarrollo de nuestro trabajo.

3.3. Parámetros de trabajo del cojinete de contacto plano.

Al producirse calentamiento de las superficies en contacto (no adecuada evacuación del calor generado y no adecuada respuesta de los materiales a la temperatura correspondiente al régimen de funcionamiento), la temperatura de ambos elementos se incrementa, incrementándose también el coeficiente de fricción y generándose mas calor, hasta que el árbol y el cojinete quedan fuera de servicio y de esta forma desaparece la reacción tangencial de fricción y autosoldándose (agarrotándose) ambos elementos entre sí, no pudiendo seguir entonces rotando el árbol.

En el Capítulo II epígrafe 2.5, del presente trabajo se estableció la metodología de cálculo para determinar la holgura mínima de la película de aceite entre el cojinete de contacto plano y el árbol. Se establecieron las ecuaciones 2.1; 2.2; 2.3; 2.4; 2.5; 2.6; 2.7; 2.8; 2.9; 2.10; 2.11; 2.12; 2.13; 2.14; 2.15 y 2.16.

En la tabla 3.1 aparecen los parámetros de trabajo del cojinete de contacto deslizante, los cuales son útiles para la lubricación del mismo.

Tabla 3.1. Parámetros de trabajo del cojinete.

No	Parámetros.	Datos de entrada	Símbolo
1	Carga sobre el cojinete	11 536 N	R
2	Deflexión del árbol	0.1013 mm	Y_arb
3	Longitud del cojinete	110 mm	l
4	Longitud del árbol	819.5 mm	L
5	Coeficiente de seguridad [1.2 ... 1.5]	1.3	ξ
6	Rugosidad superficial del árbol	0.08 μm	Rz_1
7	rugosidad superficial del cojinete	1.25 μm	Rz_2
8	diametro del arbol	125 mm	d
9	holgura relativa [0.0003 ... 0.005]	.76250E-3 l	ψ
10	Numero de revoluciones del árbol	3 600 rev/min	n
11	Velocidad del árbol	23.562 m/sec	v
12	Densidad relativa del aceite	89	ρ
13	temperatura de entrada del lubricante	50 ⁰ C	t_ent
14	temperatura de trabajo del lubricante	55.43 ⁰ C	t_trab
15	deflexión del cojinete	21.756 μm	Y_piv
16	película mínima calculada de aceite	30.011 μm	h_min_calc
17	película mínima de aceite	31 μm	h_min
18	Excentricidad relativa	0.719	χ
19	coeficiente de fricción	0.0030 L	f
20	m ³ /sec caudal de aceite	.000087139 L	Q
21	diferencia de temperatura	5.43 ⁰ C	Δt
22	holgura radial	0.11 mm	δ
23	holgura diametral	0.22 mm	Δ
24	excentricidad absoluta	0.079 mm	e
25	criterio de carga	3.63	Φ
26	coeficiente $f\psi$	1.683	$f\psi$
27	coeficiente $Q\psi$	0.153	$Q\psi$
28	parametro Π	1.40E-4	Π
29	parametro A0	14273.31	A0
30	relacion l/d	.88	ld

Con el valor obtenido de la carga sobre el cojinete se puede plantear que con el peso del árbol y el número de revoluciones más las condiciones de restablecimiento del cojinete de contacto plano este no soporta el trabajo, si se tiene en cuenta que existe fricción que genera temperatura, en estas condiciones de trabajo siempre los elementos de máquinas se retiran de servicios por el desgaste.

Los otros parámetros calculados y que aparecen en la tabla 3.1 son los datos por los cuales debe trabajar el soplador en condiciones adecuadas. A partir de estos

cálculos pudiera valorarse como se comporta el equipo cuando sufre anomalía como las analizadas en las diferentes microestructuras mostradas con anterioridad.

3.3.1. Viscosidades a la temperatura de trabajo.

Por lo antes expuesto es necesario conocer cuales son las características de trabajo de los elementos de máquinas con el objetivo de realizar cálculo de diseño o mantenimiento y así prolongar su vida útil. La tabla 3.2 establece las viscosidades de la temperatura de trabajo.

Tabla 3.2. Viscosidades a la temperatura de trabajo.

Viscosidades a la temperatura de trabajo.			
Nº	Parámetros.	Datos de entrada	Símbolo
1	Cst cinemática	17.592	ν
2	dinámica	0.0157 P/s	μ
3	carga que soporta el cojinete	47475.16 N	P
4	parámetro k	3.45 MPa	k
5	presión de trabajo sobre el cojinete	0.84 MPa	p
6	Factor de seguridad contra carga [> 1].	4.115	ns

Este paso requiere del mayor cuidado en el seguimiento del procedimiento a seguir, ya que el fallo de los cojinetes trae como consecuencia el deterioro casi espontáneo de los componentes principales de la máquina, si tenemos en cuenta que el árbol gira a 3 600 rev/min.

3.4. Análisis económico e impacto medio ambiental.

La recuperación satisfactoria de los cojinetes de contacto deslizante del soplador centrífugo 225 BL-4 de la planta de Ácido Sulfúrico en la empresa Pedro Sotto Alba, una vez deteriorado producto de la fusión del metal Babbitt durante el trabajo, constituye una necesidad de primer orden, puesto que solo existe un equipo en espera para caso de avería y al haber uno averiado se carece de este.

Al ocurrir la avería de los cojinetes de contacto deslizante del soplador 225 BL-4 para lograr una reparación con máxima prioridad, se debía decidir entre dos alternativas.

Alternativa No1: Prolongar la parada del equipo y decidir importar los repuestos necesarios para la puesta en marcha del mismo ó asignar el revestimiento de las chumacera con Babbitt mediante contrato a tercero, estos pueden ser empresas nacionales o extranjeras.

- Ventajas: Esta alternativa tiene la ventaja que permite acceder a mejores tecnologías de revestimiento con Babbitt donde la adhesión del metal antifricción al casquillo de AC 45 es superior y las impurezas en el metal depositado es mínima, en término generales un revestimiento con calidad superior
- Desventajas: Tiene en contra que se prolonga el tiempo de reparación de las piezas en cuestión, hasta el punto que se corre el riesgo de parada de la unidad en caso de avería con de pérdida considerables en la producción de la empresa. Por otra parte el acople de los cojinetes al árbol requiere de gran precisión por lo que es común que después de la reparación halla que volverlos a maquinarlos buscando ajustes adecuado que permita la holgura ideal para la película de lubricante.

Alternativa No 2: Recuperación de los cojinetes por parte del personal de la entidad y puesta en marcha del equipo con la eficiencia requerida por la planta.

- Ventajas: Con este método las piezas reparadas quedan con muy buena calidad de acuerdo con los requerimientos del cliente. Disminuye considerablemente el tiempo de fabricación. Cercanía de los talleres para ultimar posible defectos de la reparación. Disminución considerable del costo de la reparación. Disposición de la mano de obra calificada para tal función desde el comienzo de la reparación hasta el montaje del equipo.
- Desventajas: La tecnología que se dispone en los talleres de la empresa para realizar la soldadura es oxiacetilénica, esta soldadura ha sido sustituida en el mundo desarrollado por la de deposición eléctrica, ya que con la anterior se corre el riesgo de contaminación del Babbitt por la incidencia de la llama, lo que trae consigo la aparición de poros en el

metal soldado y variación de la microestructura por sobre aumento de la temperatura al ser soldado.

A continuación se ofrece en las tablas (3.3, 3.4 y 3.5) el costo de la reparación de los cojinetes en la empresa y el costo promedio para los diferentes proveedores que realizan esta reparaciones en el mercado.

Tabla 3.5. Materiales usados para la reparación de los cojinetes.

Materiales usados para la reparación de los cojinetes				
No	Materiales	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
1	Metal patente babbitt de alta B83	17,40 kg.	28,91	503,04
2	Alcohol clase A	1 Ltr	0,57	0,57
3	oxigeno	1botellón	16,44	16,44
4	Acetileno	1botellón	58,61	58,61
5	Barra, redonda, de bronce fosfórico	1 barra	1741,15	1741,15
			Total	2319,81

En la tabla 3.6 se refleja el costo de la mano de obra emplea en la reparación de los cojinetes.

Tabla 3.6. Costo de mano de obra empleada en la reparación de los cojinetes.

Costo de mano de obra								
No	Especialidades	\$/h J.N	\$/h H.E	\$/h D.A	hrs.trab. J.N	hrs. trab. H.E	hrs. trab. D.A	Ctotal hrs. trabajadas
1	Mecánico de taller A	12,08	15,67	19,26	32	0	13	555,56
2	Operador de máquina A	12,08	15,67	19,26	32	8	13	762,3
3	Eléctrico de mtto Ind. A	12,58	16,42	20,34	32	8	0	533,92
							Total	1851,78

En la tabla 3.7 se establece el gasto total por las diferentes especialidades que intervienen en la reparación del cojinete

Tabla 3.7 Gasto total por las diferentes especialidades.

No	Gasto total por especialidades	Valor en CUC
1	materiales	2319,81
2	mano de obras	1851,78
3	Gasto total de la reparación en los talleres.	4171,59
4	Costo promedio de la reparación en el mercado	8095, 75



Por las ventajas que ofrece para el proceso la alternativa #2 con respecto a la alternativa #1 y teniendo en cuenta las desventajas para lograr introducir mejoras en la reparación se escoge la alternativa #2 para la reparación de los cojinete de contacto deslizante del soplador centrífugo 225 BL-4 de la planta de Ácido Sulfúrico en la empresa Pedro Sotto Alba.

Debemos aclarar que en la alternativa #1 que plantea la reparación de los cojinetes mediante contrato a tercero sería la ruta crítica ya que esta variante pone en riesgo la producción de la planta y la estabilidad del proceso de la empresa para mantener el régimen productivo de sulfuro de níquel más cobalto lo cual en las circunstancias actuales se hace muy difícil por disponibilidad y transportación a tiempo. Por lo que literalmente se puede decir que la producción se pudo afectar seriamente.

3.5. Impacto ambiental.

Una de las características de la enseñanza de la Ingeniería ha sido su adaptabilidad y buena voluntad a los cambios. Nuevos principios y técnicas han sido introducidos en los programas de estudio en cuanto han llegado a ser conocidos y aceptados. La necesidad del personal especializado con base en las más altas matemáticas y el conocimiento de los ordenadores, ha revolucionado los métodos académicos de la Ingeniería. Esta enseñanza forma hoy individuos altamente especializados y capacitados técnicamente, los cuales tienen a su alcance instrumentos y técnicas para resolver los problemas empresariales e industriales que hubieran asombrado a los pioneros de este campo de la ciencia.

La Ingeniería surge en Cuba como especialidad en la formación de Ingenieros, en 1962, como resultado de la necesidad que tenía la Revolución de impulsar la formación de Ingenieros que desarrollasen y explotasen eficientemente la creciente y sostenida base productiva que el proceso de industrialización que se estaba realizando.

Cuando se creó, este ingeniero tenía como objetivo fundamental la dirección de los procesos productivos y explotar y mantener eficientemente el equipamiento industrial, organizando los procesos productivos y auxiliares. Su perfil era por tanto

de explotación y de un carácter amplio, que incluía todos los aspectos tecnológicos de la producción e inclusive de carácter constructivo.

Algunos de los procesos tecnológicos de producción que se deben estudiar y valorar cuidadosamente son los de elaboración de los metales por corte, mediante el torneado, fresado, taladrado, rectificado y acepillado. Operaciones que se ejecutan en casi todas las fábricas y talleres del país, y cuya influencia sobre el consumo energético y gasto de materiales es elevado.

En estas operaciones la productividad y calidad de las piezas que se elaboran, dependen, entre otros parámetros, del correcto cálculo y establecimiento de los elementos del régimen de corte.

La alteración de alguno de estos elementos, además de afectar la productividad de piezas, así como, el acabado y precisión de las mismas, lo que traería como consecuencia el incumplimiento de su asignación de servicio y afectaciones a otras piezas de las máquinas y mecanismos donde se instalan, trae consigo además, las siguientes consecuencias:

- ✓ Exceso en la emanación de gases y vapores provocado por la alteración de los fenómenos térmicos que ocurren durante el corte.
- ✓ Derrame y evaporación de líquidos lubricantes y refrigerantes.
- ✓ Gasto de materiales (por errores de elaboración en las piezas producidas, por reparaciones, desgaste de herramientas de corte y utilización de piezas de repuesto).
- ✓ Aumento del ruido en los talleres y fábricas por el desgaste acelerado de las piezas de las máquinas herramienta donde se realiza el trabajo.
- ✓ stress de los operarios, por agotamiento físico y psicológico a causa del exceso de tiempo de trabajo empleado en la elaboración de las piezas o por tener que elaborarlas nuevamente.

3.6. Conclusiones del capítulo III.

- En los experimentos realizados se demuestra que existe una variación en la microestructura del material antifricción en el cojinete, quedando evidenciado por la compactación de los cristales estaño antimonio en la masa de antimonio en la aleación y la presencia ó predominio de lo cristales en forma de estrella y agujas alargadas después de la fusión del metal en el cojinete, propio de la aleación cobre estaño que tiene mayor temperatura de fusión y resistencia al desgaste.
- La deformación plástica superficial del material antifricción en el cojinete producto de la fricción por rodadura del árbol tiene un efecto económico por el alto costo de los materiales en el mercado y la utilización de personal especializado para estas labores, evidenciando que para la recuperación se consume un costo de 4171,59 CUC y la compra del mismo importa un costo de 8095,75 CUC, ahorrándose 3924,16 CUC
- En el epígrafe 3.3 se estableció el cálculo de lubricación del cojinete quedando demostrado que el mismo en buenas condiciones de lubricación y seleccionando adecuadamente el material antifricción el cojinete de contacto plano tendría una vida más duradera.

3.7 Conclusiones Generales.

- La bibliografía consultada aporta información sobre el comportamiento del babbitt UNS – 55189, pero en ninguna de ella se refleja el comportamiento del mismo cuando se deforma producto a la fusión por fricción en los cojinetes de contacto deslizante, debido a las características de trabajo a que están sometidos los sopladores centrífugo (3600rev/min). Estos además están sometido al desgaste por fatiga, el desgaste adhesivo y el desgaste abrasivo.
- La realización de los ensayos anteriormente señalados permite obtener una información detallada acerca de la composición química y la microestructura del material analizado. Además permiten establecer el

comportamiento microestructural del Babbitt deformado por la fusión durante el trabajo.

- Se estableció la metodología de cálculo de lubricación que permitió determinar la holgura adecuada de la película de lubricante que actuará entre el árbol y el cojinete para lograr la fricción necesaria posible entre los elementos en cuestión.

3.7 Recomendaciones.

- ❖ Establecer a través del cálculo del diseño el comportamiento de la transmisión cojinete - árbol para determinar las condiciones de trabajo por fricción de los mismos.
- ❖ Emplear la metodología de cálculo para la lubricación de los cojinetes establecidas en el epígrafe 3.3 para determinar a través de métodos de medición el comportamiento de la película de aceite.
- ❖ Analizar otros procedimientos de recuperación de los cojinetes que evite el exceso de calentamiento en los mismos y altere la microestructura de los materiales.

RERERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

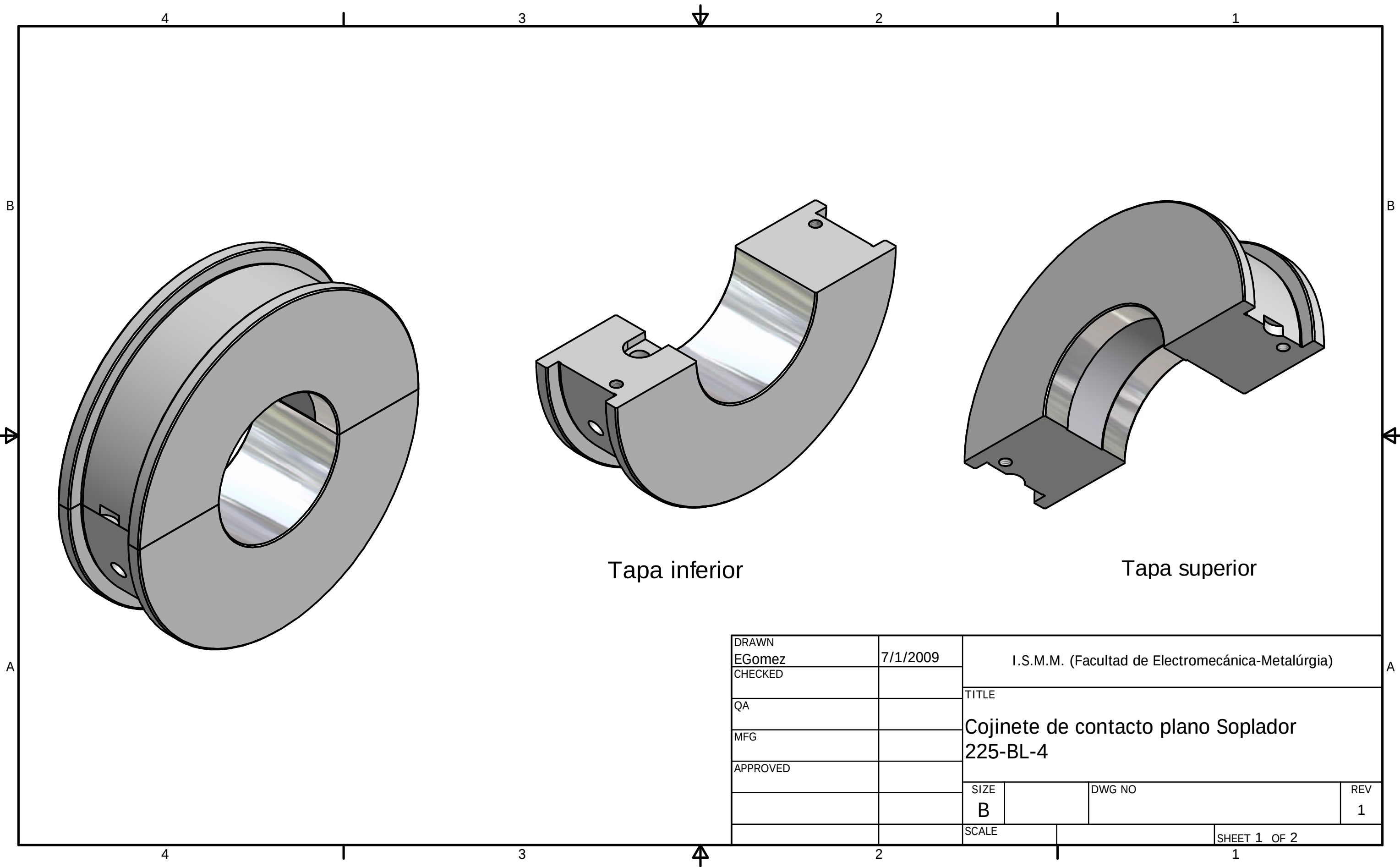
1. A.p guliáev Micrografía Tomo II. Editorial Moscú 1978
2. Alfonso, E; Martin, J. Aplicación de la Ley de Wolf-Bragg en la determinación de las tensiones residuales de primer género. Memorias del II Taller Internacional de Didáctica de la Física "DIDACFISU' 2000".
3. Alfonso, E. Apuntes sobre la interrelación composición–microestructura y propiedades del acero. Monografía. ISBN 959-16-0188-3. Universidad de Matanzas. 2002.
4. 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.
5. Alvarez, E. N, Lancestremere, J, Mareglia, J. C, Barr, J. Fundamentos de la trafilación. Tecnología Mecánica II. Universidad de Buenos Aires.Facultad de Ingeniería, 2004.
6. American Heller Corporation. "Skiving & Burnishing", USA, Obtenido de la Red mundial el 15 de febrero del 2003, <http://www.americanheller.com>.
7. Barceinas, S y Juárez, A.H. Propiedades, Fortalecimiento y comportamiento de los Materiales, Capítulo IV, 2001.
8. Barret, C. Estructura de los metales. 1 ed. Editorial Aguilar. Madrid. 1957. 838p
9. Bushan, B; Gupta, B.K. Handbook of tribology.McGrawHill. New York, 1991
10. Bright Burnishing Tools. "What is roller burnishing?",India, Obtenido de la Red
11. Franke, Rodamiento antifricción, sistemas lineales para la industria (2009).
12. Franke GMBH. (2009). Certificados ISO 9001:2000 e ISO 14001:2004. Aalen,Alemania
13. *González Rey, G., García Toll, A., Ortiz Cárdenas, T. (2003). 14.Elementos de Máquinas. La Habana. Cuba*
14. . González Rey, A. García Toll, T. Ortiz Cardenas Elementos de Máquinas. Cojinetes de deslizamiento. Transmisiones Mecánicas. (2004)
15. Guliaev, A. Metalografía. Tomo II. Moscú. Editorial Mir. 1983. Pág. 17-22
16. *Metal antifricción*, reparación de rodamientos re-acondicionando el revestimiento *anti-fricción* o *babbitt* Eileen Banks (2008).
17. mundialel3deMayodel2003,<http://www.brightburnishingtools.com>.
18. Hu-Nai-Sai y Zhou Hui-Jiu The Effect of Surface Plastic Deformation on Fatigue Strength and its Mechanism. University Xian, China.2002.
19. Yu. M. Iajtin , metalografía y tratamiento térmico de los materiales editorial Moscú 1984.
20. Yu kozlov, Ciencia de los materiales. Editorial Mir 1986.
21. Kocks, U; Franciosi, P; Kawai, M.A. "A forest of latent hardening and



- its
22. 18 1103-1114 31. Key To Steel. Fracture Toughness. Key to Steel Web Site. 2002. Disponible en la World Wide Web en <http://www.key-to-steel.com/>
 23. Key To Steel. Influence of Alloying Elements on Steel Microstructure. Key to Steel Web Site. 2002. Disponible en la World Wide Web en <http://www.key-to-steel.com/>.
 24. Korotcishe.L. Procesos progresivos en la deformación plástica superficial por rodadura. Mir. Moscú. 1989. Pág 53-64.
 25. Mazein, P.G. Prusakov, D.V., Tchunin, A.V. "Modelling the residual stresses and deformation during a surface plastic deformation operations", Proceeding of the Chelyabinsk Scientific Center, Issue #1, (10). January-March 2001, Russia.
 26. MATERIALES. Bohler special steel manual for PC. Version 1.1. 1996



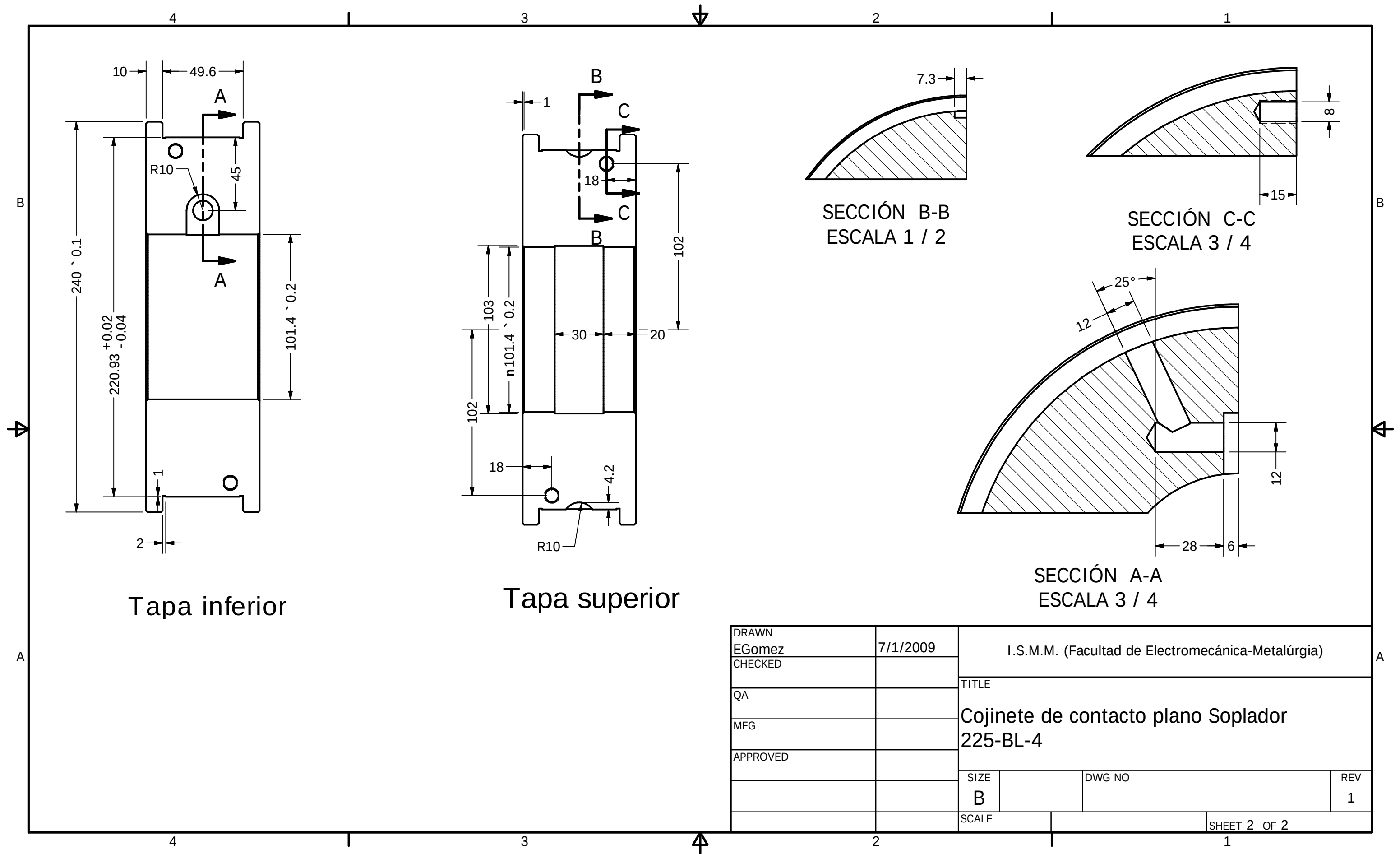
ANEXOS



Tapa inferior

Tapa superior

DRAWN	7/1/2009	I.S.M.M. (Facultad de Electromecánica-Metalúrgia)		
EGomez				
CHECKED		TITLE		
QA		Cojinete de contacto plano Soplador 225-BL-4		
MFG				
APPROVED		SIZE	DWG NO	REV
		B		1
		SCALE	SHEET 1 OF 2	



Tapa inferior

Tapa superior

DRAWN	7/1/2009	I.S.M.M. (Facultad de Electromecánica-Metalúrgia)		
EGomez		TITLE Cojinete de contacto plano Soplador 225-BL-4		
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED				
		SIZE	DWG NO	REV
		B		1
		SCALE	SHEET 2 OF 2	