Centro de Investigaciones de Soldadura
Facultad de Ingeniería Mecánica
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Obtención y caracterización de material para el relleno de los anillos de los sincrónicos de la caja de velocidad del camión ZIL 130-131.

Autor: Osvaldo Pérez Pérez

Tutores: Dr. Arnaldo M. Herrera Artiles.
Ing. Humberto Wolpes Díaz

Curso 2010-2011.

Dedicatoria:

*A mis padres **Maria Iluminada Pérez Delgado** y **José Luis Pérez Amaro**, de los cuales me siento muy orgulloso y los llevo en mi corazón como el tesoro mas valioso de mi vida, muchas gracias por darme la vida y todo lo que tengo; formarme y guiarme en todo momento como el hombre que soy mediante su ejemplo; alentándome en los momentos difíciles de la vida a seguir subiendo la loma, para convertirme en un profesional.*

*A mi hermana gemela **Oralys Pérez Pérez** por ser la hermana mas preocupada del mundo y estar pendiente en todo momento de su hermanito chiquito.*

*A mi Hermano **Omar Pérez Pérez** por adentrar poco a poco la palabra de dios en nuestro hogar, pues todo lo que logramos es gracias a él.*

*A mi novia **Yisel Padrón Montano** por estar a mi lado estos 10 años y comprenderme y apoyarme en todos los momentos, no se que seria de mi vida sin tí, gracias por existir.*

*A mi cuñado **Oscar Lorenzo Armada** por enseñarme la perseverancia en cada momento de la vida, en los estudios y hasta en los juegos.*

*A todos mis **familiares** queridos presentes y no presentes pero que los recuerdo con mucho cariño en especial mis abuelos.*

A todos muchas gracias.

Agradecimientos:

*A todos los **profesores** que participaron en estos 5 años formándome como profesional.*

*A mi tutor **Arnaldo Herrera Artiles** por su amistad, su confianza y por guiarme en estos dos últimos años de mi carrera por lo que gracias a su asesoría pude realizar este trabajo de diploma, gracias por tu paciencia y dedicación a la hora de explicarme las tareas a realizar y transmitirme aliento con el buen humor que te caracteriza en las horas de mayor presión.*

*Al técnico más destacado y amigo **Alexis Delgado Gómez** más conocido en el CIS por ¨ **la bala**¨ ó en el Chat por ¨**chucho el bombero**¨ gracias por ayudarme en la realización de las tareas encomendadas para conformar este trabajo.*

A los trabajadores de los demás talleres y laboratorios que con su trabajo y ayuda colaboraron a conformar este trabajo muchas gracias a:

***Luís** en el taller de maquinado, **Víctor** en el taller de metalografía, **Maikel** en el taller de soldaduras y **Vladimir** en el taller de motores.*

RESUMEN

En el trabajo se presenta el proceso de obtención de un material de aporte, de aleación de latón, para el relleno de los anillos desgastados de los sincrónicos de las cajas de cambios de los camiones ZIL 130-131, obtenido indistintamente por métodos de fusión en horno eléctrico y con llama oxiacetilénica, a partir de anillos de sincrónicos desechados. Se hace una caracterización en cuanto a la composición química, metalografía, dureza y resistencia al desgaste del material original y de las aleaciones obtenidas por ambos métodos, que muestran que las nuevas aleaciones poseen propiedades y comportamiento similares o ligeramente superiores, en cuanto a la resistencia al desgaste, con relación al material original del anillo. Se presenta el diseño y construcción de un dispositivo con el que se realizaron los ensayos de desgaste, que satisfacen los requisitos, exigencias y recomendaciones de la norma ASTM G 77 acorde a los mecanismos de desgaste presente en los anillos de los sincrónicos. El dispositivo desarrollado es sencillo y puede ser utilizado para ensayos acelerados en la propia empresa de producción.

Palabras Claves: Sincrónicos de cajas de cambios, Desgaste, Ensayos de desgaste.

SUMMARIES

The paper presents the process of obtaining a filler, brass alloy, for the filling of worn rings of synchronous gearboxes of trucks ZIL 130-131, obtained by either melt method electric oven and oxyacetylene flame, from discarded synchronous rings. A characterization in terms of chemistry, metallography, hardness and wear resistance of the original material and alloys obtained by both methods, showing that the new alloys have properties and behavior similar or slightly higher, as the resistance wear in relation to the original material of the ring. We present the design and construction of a device with which the wear tests conducted, meeting the requirements, demands and recommendations of ASTM G 77 according to the wear mechanisms present in synchronous rings. The device developed is simple and can be used for accelerated tests in-house production.

Keywords: Synchronous gearbox, wear, wear tests.

Índice

Pág.

Introducción……... 1

Capítulo I: Fundamentos teóricos…… 5

1.1. Características generales de los sincrónicos de las cajas de cambio de velocidades de los vehículos automotores y los materiales utilizados……..... 5

1.2. Características de los anillos de los sincrónicos del la caja de velocidades del ZIL 130-131 y del material de relleno utilizado en la EMI……. 8

1.3. Particularidades sobre los desgastes y los métodos de evaluación……..…… 11

1.4 Métodos de evaluación de los desgastes…….…… 13

Capítulo II: Diseño y construcción de dispositivos para ensayos de desgaste adhesivo…… 14

2.1 Criterios y requisitos para la medición de la resistencia al desgaste de los anillos del sincrónico del ZIL 130-131…….…….. 14

2.2. Diseño y características del dispositivo para los ensayos de desgaste..... 15

2.3. Funcionamiento del dispositivo..... 17

Capítulo III: Materiales y Métodos..... 20

3.1 Selección y fundamentación de un material de relleno para los sincrónicos..... 20

3.2.1 Obtención de las probetas mediante fusión en horno eléctrico…….…….. 21

3.2.2 Obtención de las probetas mediante fusión con llama oxiacetilénica……..... 21

3.3. Caracterización de los materiales obtenidos…….…….. 24

3.3.1 Análisis de la composición química..... 25

3.3.2 Análisis metalográfico..... 25

3.3.3 Medición de la dureza..... 26

3.3.4 Ensayos de desgaste y determinación del desgaste relativo……..…….. 27

3.3.5 Obtención del electrodo para relleno de los anillos desgastados del sincrónico.. 30

Capítulo IV: Resultados y análisis……... 31

4.1 Resultados de la obtención del material por fusión y vertido para el relleno de los anillos de los sincrónicos …….…. 31

4.2 Caracterización de los materiales obtenidos para el relleno de los anillos sincrónicos ……..… 31

4.2.1 Composición químicas de las probetas obtenidas de los anillos del sincrónico.. 31

4.2.2 Metalografías de las aleaciones obtenidas por fusión con horno eléctrico y con llama oxiacetilénica……. 33

4.2.3 Dureza de las aleaciones obtenidas por fusión con horno eléctrico y con llama oxiacetilénica …….. 35

4.2.4 Resultados de los ensayos de desgaste…….……... 36

4.3 Análisis económico…….…… 37

Conclusiones……... 41

Recomendaciones…….. 42

Bibliografía……. 43

Anexos…… 45

Introducción

Los objetos (máquina, equipos, instalaciones, etc.), a lo largo de su vida en explotación, sufren el envejecimiento físico que se traduce en la pérdida total de sus capacidades de trabajo como conjunto. Al llegar este momento existe la conveniencia en la mayor parte de los casos, de someterlos a la Reparación General Compleja o la Reconstrucción, proceso mediante el cual se le restablece la capacidad de trabajo para un nuevo ciclo de explotación[1, 2]

Muchas partes y piezas de las máquinas al llegar a la reconstrucción conservan también en gran medidas sus capacidades de trabajo individuales que permiten su reutilización en un nuevo ciclo de vida, en otros casos, aunque ya han consumido esas capacidades, conservan una vida remanente que permite restablecerles dichas capacidades mediante diferentes procesos de reparación o de recuperación [3].

La Empresa Militar Industrial (EMI) "Coronel Francisco Aguiar Rodríguez", de Sancti Espíritus, tiene entre sus misiones, la reparación y reconstrucción de la línea de camiones ZIL 130-131 procedentes de la extinta URSS y actualmente de RUSIA, los que forman parte del parque de transporte de la técnica militar de las FAR y de diversas empresas de la economía nacional. Entre los componentes, partes o piezas de esa línea de camines, que a pesar de la perdida de capacidad total conservan vida remanente como material base para ser recuperadas, se encuentran los discos de fricción del conjunto del sincrónico de la caja de velocidad. Algunos intentos se han realizado en la recuperación de este elemento mediante el relleno de las superficies desgastadas con un material de aporte importado no destinado para tales fines.

Estudios de caracterización del material del disco de fricción y de los depósitos del material de relleno utilizado, realizados por Amberley [4] y Pérez [5], puso de manifiesto el insatisfactorio comportamiento del segundo y la conveniencia de no utilizarlo, por lo que en la actualidad la empresa aun no tiene una solución para esta pieza y se siguen desechando como materia prima, en espera de una tecnología de recuperación.

En el campo de la recuperación de piezas, antes de poner en práctica una tecnología o procedimiento de recuperación, es necesario determinar el método más racional a aplicar

basado en criterios técnico-económicos y en la predicción o criterios de la durabilidad relativa de la pieza recupera con relación a la pieza nueva [6]. Las vías para elaborar estos criterios se fundamentan en la caracterización general de las propiedades del material de la pieza y las del aportado como relleno, utilizando diferentes técnicas de laboratorio y la caracterización tribológica en cuanto a la resistencia al desgaste relativo entre la pieza y el material aportado por una tecnología o procedimiento dado. Sin embargo estos procesos de caracterización no están al alcance de la Empresa Militar Industrial de Sancti Spíritus en sus propios talleres o instalaciones.

Problema Científico

Obtener un material de aporte, destinado al relleno de los anillos de latón desgastados de los sincrónicos de la caja de cambios del camión ZIL 130 – 131, donde la aleación de dicho material se obtenga por métodos de fusión y vertido en molde, a partir de anillos de latón desechados de los mismos sincrónicos.

Hipótesis.

A partir de la fusión de los anillos de latón desechados de los sincrónicos y vertido en molde metálico, es posible obtener un material de aporte con comportamiento y propiedades de resistencia la desgaste similares o superiores al las de los anillos originales.

Objetivo general.

Obtener un material de aporte, destinado al relleno de los anillos de latón desgastados de los sincrónicos de la caja de cambios del camión ZIL 130 – 131, donde la aleación de dicho material se obtenga por métodos de fusión y vertido en molde, a partir de anillos de latón desechados de los mismos sincrónicos.

Objetivos Específicos.

1. Precisar los mecanismos de desgaste y propiedades químicas y físicas fundamentales de los anillos de fricción de los sincrónicos, a partir de la recopilación de información teórica, análisis de las condiciones de trabajo del par tribológico y estudio de caracterización si fuera necesario.
2. Diseñar y fabricar un equipo o dispositivo para ensayos de desgaste que simule el mecanismo de desgaste del par tribológico del sincrónico, bajo parámetros y exigencias de las normas ASTM.
3. Obtener por métodos de fusión en horno eléctrico y con llama oxiacetilénica, aleaciones de latón utilizando como materias primas los anillos de latón de sincrónicos desechados.

4. Evaluar el comportamiento de las propiedades (composición química, microestructura y dureza), particularmente la resistencia al desgaste, de las aleaciones obtenidas, con relación a los anillos de latón originales

Tareas a desarrollar:

1. Revisión de los resultados de trabajos precedentes sobre el estudio y caracterización de anillos de sincrónicos y definición de los mecanismos de desgaste en el par tribológico.
2. Revisión y selección de la norma o normas que se adaptan y regulan, los parámetros y requisitos de ensayos de desgate para los mecanismos del par tribológico del sincrónico.
3. Diseño del dispositivo para los ensayos de desgaste en correspondencia con los requerimientos de las normas seleccionadas.
4. Elaboración de los planos del dispositivo el programa Mechanical Deskstop u otra herramienta computacional.
5. Construcción del dispositivo para los ensayos de desgaste y elaboración de las instrucciones para su uso.
6. Elaboración de moldes en grafito para el vertido del metal fundido en la obtención de las probetas para la caracterización de laboratorio.
7. Elaboración de crisol de grafito y molde metálico experimental para la obtención del metal de aporte en forma de varilla.
8. Caracterización en laboratorio (análisis químico, metalografía y dureza) de las aleaciones obtenidas por fusión en horno eléctrico y con llama oxiacetilénica
9. Realización de los ensayos de desgaste de las aleaciones obtenidas y del material original del anillo, y determinación de los coeficientes de desgaste relativos.

Capítulo I

Fundamentos teóricos.

1.1.Características generales de los sincrónicos de las cajas de cambio de velocidades de los vehículos automotores y los materiales utilizados.

Las cajas de cambio de velocidades para lograr un mejor acoplamiento entre sus engranajes, cuenta con los ***subconjuntos sincrónicos***. En la página Web [7], se describen los sincrónicos como "…anillos compuestos de bronce, con una forma helicoidal, que se alojan en los extremos de los engranajes de cada marcha y es el responsable de igualar las rpm de giro de un engranaje engranado a las mismas rpm de giro del engranaje de marcha que va a ser seleccionado".

El cuerpo del sincrónico o carro (figura 1.1), tiene la función de garantizar el acoplamiento fijo con los engranes mediante la sección dentada. Generalmente se fabrican de aceros con propiedades iguales a la de los engranajes o piñones, en ocasiones del mismo material.

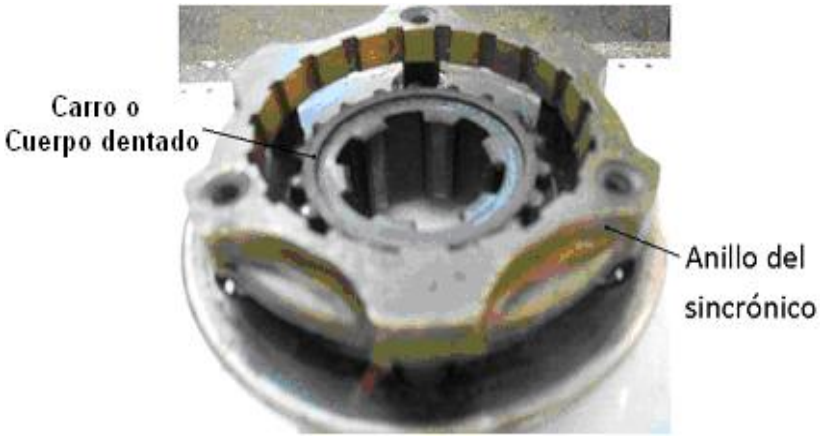


Figura 1.1 Conjunto sincrónico de la caja de velocidades del camión ZIL 130-131.

Los anillos de los sincrónicos son fabricados de aleaciones base cobre (bronces o latones). El cobre es un metal de gran utilidad y las aleaciones constituidas con este, como base de la aleación, son muy utilizadas por su gran presencia en la corteza terrestre y la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, con sus propiedades eléctricas.

Las aleaciones de cobre, por tener buena resistencia mecánica, coeficiente de fricción bajo, así como una buena resistencia contra la corrosión, se utilizan en la construcción de maquinarias [8]. En particular, en la industria automotriz, tienen una gran aplicación como par antifricción, donde en general no es imprescindible una conductividad térmica elevada, pero sí de otras propiedades como dureza y resistencias a la fricción, a la corrosión y a la oxidación [9],[10].

Algunos autores [8], identifican el latón como la aleación más usada y se reafirma así en el caso de los anillos de los sincrónicos de la caja de cambios del camión ZIL 130 – 131 (figura 1.1), donde se utiliza una aleación de latón.

Las aleaciones base cobre, ya sean latones o bronces, presentan diferencias en sus propiedades y comportamientos específicos. Sin embargo, ambas reúnen un grupo de propiedades tribológicas que las hacen preferentes para formar pares de fricción en determinadas condiciones de trabajo[10].

Los latones son aleaciones cuya composición básica es cobre y zinc, mientras que los bronces son aleaciones constituidas por cobre y estaño o cobre y aluminio[8]. Tanto en las aleaciones básicas de latón como las de bronce, están presentes otros elementos en pequeñas cantidades que contribuyen a modificar las propiedades de la aleación y por tanto el comportamiento tribológico.

Los bronces constituidos por cobre y estaño están compuestos por proporciones del 80% del primero y 20% del segundo, pudiendo variar esa proporción también a valores de 95% y 5% respectivamente, mientras que los bronces al aluminio generalmente están compuestos por el 90% de cobre y el 10% de aluminio [8].

Distintos autores [9, 11], señalan que el estaño en la aleación trasmite al cobre resistencia y dureza y de igual forma afirman que la presencia del plomo en las aleaciones de bronce en proporción hasta un 10%, le confieren a estas amplia aplicación como cojinetes antifricción, sin embargo, agregan que las aleaciones de latón (cobre y zinc) tienen un amplio campo de aplicación para elementos constructivos donde está presente además de la fricción, otros factores. Como es el caso de los anillos de los sincrónico.

A nuestro criterio, todo lo anterior hace necesario el estudio y selección adecuada de la composición especifica y comportamiento de las propiedades de una aleación base cobre para

la fabricación de un elemento constructivo determinado, o del material para su recuperación por relleno, cuando dicho elemento ya haya sufrido el desgaste límite en la explotación.

En la figura 1.2 se muestra el diagrama de estado Cu-Zn. [8]. Como se observa en el mismo, en las aleaciones de cobre y zinc (latones) en estado sólido se pueden formar seis fases:

A la temperatura ambiente los latones que se utilizan en la práctica están constituidos por cristales α , o son una mezcla de cristales α y β (Figura 1.2).

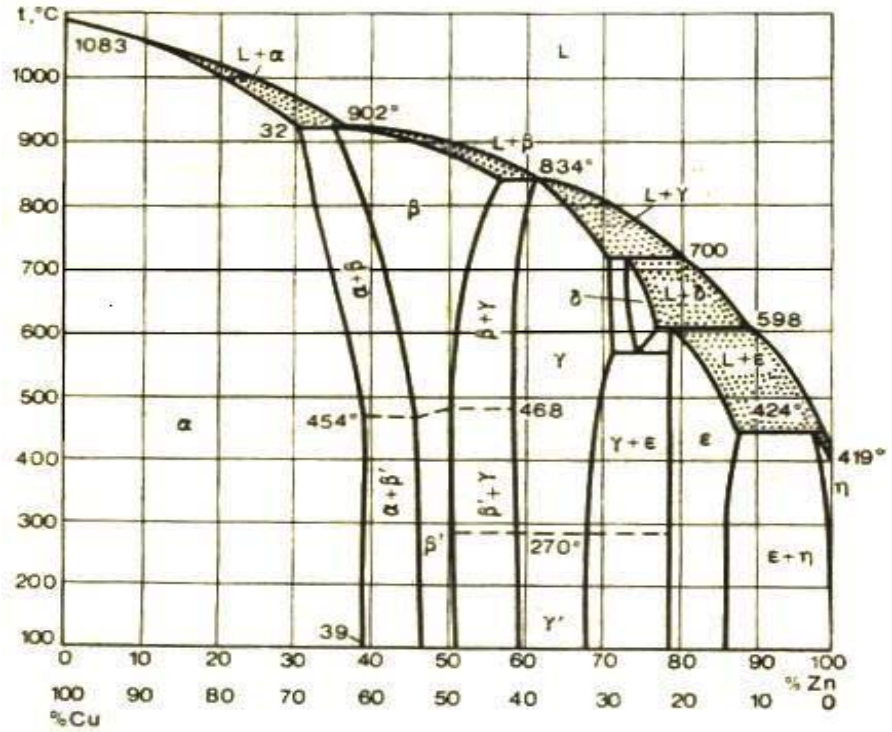


Figura 1.2 Diagrama de estado Cu-Zn.

Para lograr diferentes propiedades y comportamiento en las condiciones de trabajo con las aleaciones Cu-Zn, se adicionan diferentes elementos de aleación, cuya influencia fundamental se resume en la tabla 1.1[8, 10, 11]

Las aleaciones utilizadas en los sincrónicos exigen entre sus propiedades fundamentales la resistencia al desgaste y una adecuada transferencia o disipación del calor generado.

Tabla 1.1. Efecto de los elementos de aleación en las aleaciones Cu-Zn.

ELEMENTO	EFECTO
Hierro	Aumenta la resistencia mecánica.
Aluminio	Aumenta la resistencia mecánica. Aumenta la resistencia a la corrosión. Aumenta la resistencia al desgaste. Aumenta la dureza.
Manganeso	Aumenta la resistencia a la tracción. Aumenta la dureza y la resistencia al desgaste.
Cromo	Aumenta las propiedades mecánicas.
Telurio	Aumenta las propiedades mecánicas.
Berilio	Aumenta la dureza.
Fósforo	Aumenta el límite de fatiga. Disminuye la conductividad Aumenta la resistencia a la tracción.

1.2. Características de los anillos de los sincrónicos del la caja de velocidades del ZIL 130-131 y del material de relleno utilizado en la EMI

Fallas típicas en los anillos del subconjunto sincrónico.

En análisis realizado por Amberley [4], se describe que, "Las fallas típicas del subconjunto sincrónico están basadas principalmente en los anillos cónicos del sincrónico, debido al desgaste de las superficies de deslizamiento caracterizado por un mecanismo de desgaste adhesivo fundamentalmente, con altas presiones o cargas que pueden considerarse en ocasiones como un ligero impacto, y una ligera abrasión como mecanismo secundario, producto en algunos casos (de mal mantenimiento) y de contaminantes (partículas o polvo) que se introducen con el propio aceite debido a la mala manipulación y almacenamiento del mismo".

De igual forma Amberley [4], hace un estudio de caracterización de los anillos de los sincrónicos de la caja de cambios sincrónicos de la caja de velocidad del ZIL 130-131, y del material de relleno utilizado en la EMI para su recuperación, mediante estudios de laboratorio, el que se resume a continuación:

El material del anillo del sincrónico está construido por una aleación de latón compleja bifásica $\alpha+\beta$ (zona $\alpha+\beta$ en el diagrama de estado Cu-Zn, (figura 1.2)), que puede corresponder

a la marca ЛМЦА 57-2-1 (2% Mn, 1% Al), según la norma GOST 17711-72 (Tabla 1.1) y típicos para la elaboración por estampado, lo que se corresponde con el método de elaboración descrito por la documentación técnica del camión ZIL 130-131.[12].

Tabla 1.2. Resultados del análisis químico de los anillos del subconjunto sincrónico.

Cu	**Zn**	**Mn**	**Al**	**Si**	**Fe**	**Ni**
56.08	40.52	2.00	0.968	0.254	0.0292	0.0568
Pb	**Mg**	**Cr**	**C**	**S**	**P**	**Sn**
0.0817	<0.00100	<0.00500	<0.00500	<0.00100	0.0119	0.00431
Los valores son el promedio de cinco mediciones (chispazos).						

La presencia del Mn y el Al como elemento de aleación en estas aleaciones mejora propiedades, sobre todo en cuanto a dureza, resistencia mecánica y resistencia al desgaste.

La dureza medida en el metal de los anillos tiene como promedio 157 Hv y según fabricante siempre debe ser superior a 135 Hv, mientras que los análisis de microestructura (Figura 1.3), ratificaron que el material de los sincronizadores corresponde inequívocamente a un latón de tipo α+β.

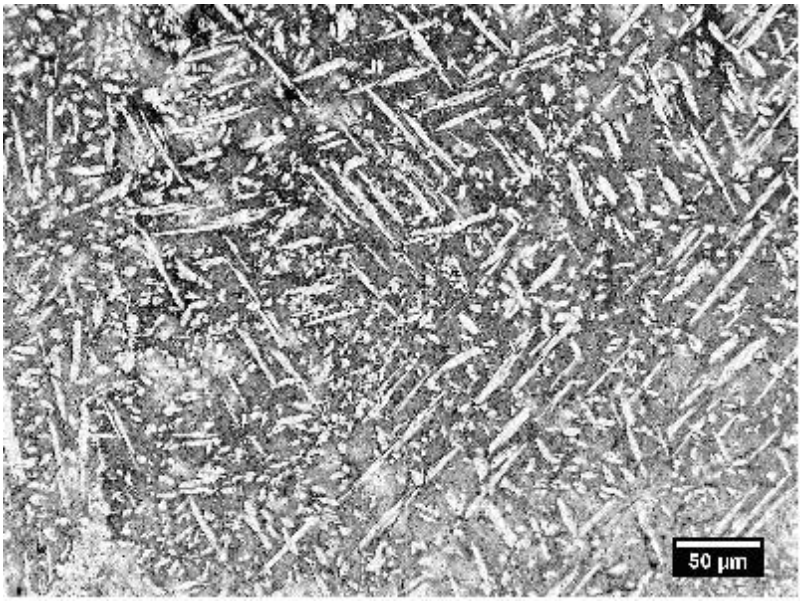


Figura 1.3. Microestructura del metal del anillo del sincrónico. 200x.

La composición del material de relleno usado en la recuperación, según la caracterización, tabla 1.3, se identificó como un latón de tipo bifásico α+β, al igual que el material del anillo (metal base), aunque en este caso no hay presencia de ningún otro elemento de aleación que pueda influir significativamente sobre las propiedades.

De igual forma, la microestructura (Figura 1.4), se corresponde también con una aleación típica de latón bifásico α+β, no aleada. Sin embargo, el tamaño de grano es significativamente mayor que el reflejado en la microestructura del metal base del anillo del sincrónico, lo que debe influir negativamente en su comportamiento y resistencia al desgaste[8].

Las mediciones de dureza en laboratorio sobre los depósitos arrojaron valores de 108 Hv, promedio, muy inferiores a los valores mínimos dados como requisitos por el fabricante.

Tabla 1.3 Resultados del análisis químico del material de relleno en el anillo del subconjunto sincrónico.

Cu	**Zn**	**Mn**	**Si**	**Sn**	**Fe**	**Ni**
55.46	44.25	0.0440	0.0397	0.0135	0.0211	0.0597
Pb	**Al**	**Mg**	**Cr**	**P**	**S**	**C**
0.0754	0.0210	<0.00100	<0.00500	0.0141	<0.00100	<0.00500
Los valores son el promedio de cinco mediciones (chispazos).						

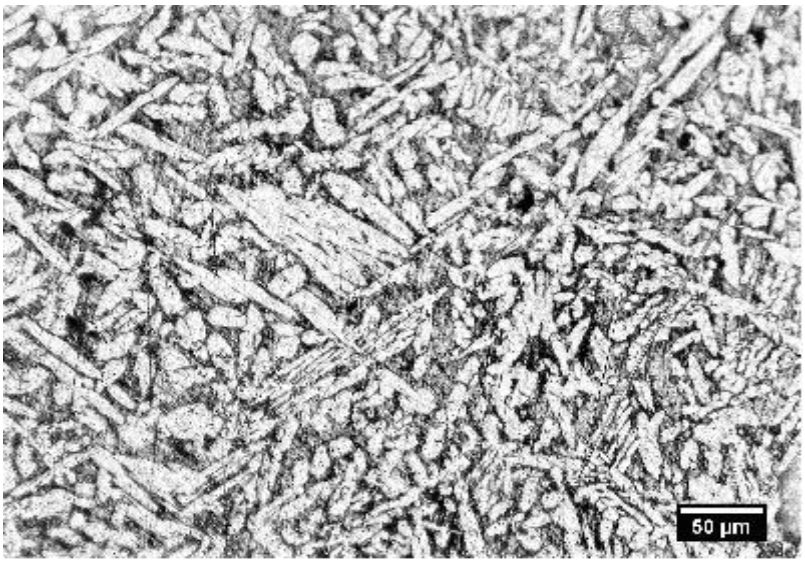


Figura 1.4. Microestructura del relleno 200x.

De acuerdo a la composición química, requisitos de dureza mínima establecidas por el fabricante y demás propiedades de ambos materiales, se coincide con Amberley [4] cuando fundamenta en su análisis, que esta aleación utilizada para el recargue responderá con menor

efectividad y durabilidad a las condiciones y mecanismo de desgaste que la aleación del anillo (metal base), lo que no la hace fiable para una durabilidad mínima necesaria, y según estos criterios recomienda la selección de un material adecuado a partir de su selección y caracterización, sobretodo en cuanto a la resistencia al desgaste relativo en laboratorio, que permita elaborar un criterio técnico-económico más acertado antes de tomar la decisión de implementar una tecnología de recuperación.

A nuestro criterio, se impone el análisis y selección u obtención de un material para el relleno que satisfaga las condiciones de trabajo y durabilidad de manera similar a la pieza nueva, lo que debe incluir soluciones que puedan dar respuesta con los propios medios de la empresa, evitando acudir a la importación de un material de aporte comercial, lo que estaría en correspondencia con la política económica actual del país en la sustitución de importaciones. Una opción pudiera estar en la posibilidad de obtener el material de aporte en forma de electrodo (varilla) a partir del propio material de los anillos sincrónicos desgastados que actualmente se desechan para chatarra, siempre y cuando esto se logre mediante un proceso que permita conservar dentro de límites permisibles las características y comportamiento del material original.

Por otra parte, para lograr la certeza del adecuado desempeño del material obtenido, se hace necesario desarrollar diferentes ensayos de caracterización del mismo en laboratorios y en particular realizar ensayos de desgaste acorde a normas existentes que simulen lo más aproximado posible las condiciones de trabajo de la pieza, de manera que permitan predecir el comportamiento y durabilidad del material aportado con relación al de la pieza nueva para condiciones reales de explotación.

1.3. Particularidades sobre los desgastes y los métodos de evaluación

El desgaste se puede manifestar de forma normal (natural), pero existen varios grados y tipos de desgaste y muchas maneras en las que este puede ocurrir. El mecanismo y severidad bajo el cual se desarrolla el desgaste es determinante.

Según Herrera Artiles [13], de forma general todos los desgastes y defectos son divididos en dos grandes grupos de acuerdo a las leyes de aparición y desarrollo: ***Desgastes naturales y Desgastes o defectos de avería.***

Los primeros, son desgastes y defectos que se desarrollan despacio resultado del trabajo prolongado de las fuerzas de fricción inevitables, de la acción de las altas temperaturas, etc., mientras que los segundos son desgastes y defectos que se desarrollan rápidamente y que son perceptibles incluso después de un trabajo no prolongado. Esto se debe generalmente a un mal mantenimiento, defectos de construcción, sobrecargas prolongadas (incorrecta explotación).

Para los especialistas en reparación o recuperación, los desgastes naturales son los que interesan en primer término para seleccionar el método de recuperación, la tecnología, los materiales de aporte en el relleno, etc.

Herrera Artiles [6], describe que distintos autores a partir de criterios diferentes han establecido numerosas clasificaciones de los desgastes naturales en las piezas y pares de fricción y seguidamente señala que una clasificación del desgaste, basándose en el mecanismo bajo el cual éste se desarrolla, fue planteada por BURWELL, y comprende las siguientes formas:

- Desgaste adhesivo.
- Desgaste abrasivo.
- Desgaste corrosivo (corrosivo-mecánico).
- Desgaste por fatiga superficial.

Desgaste adhesivo: En el mecanismo de desgaste adhesivo el papel principal lo juega la interacción entre los materiales y surge como resultado de la destrucción superficial de uno o de ambos materiales en contacto. Se origina el deterioro en forma de adherencia o desgarramientos en las superficies de las piezas (microsoldaduras de las crestas de las irregularidades), cuando existe el contacto de dos metales a gran presión.

El desgaste adhesivo es característico sólo en pares de deslizamiento metal-metal. La estructura cristalina y la dureza de los materiales en contacto tienen influencia considerable en el desgaste adhesivo.

Este mecanismos de desgaste está presente en los elementos de máquinas como: cojinetes de deslizamiento; transmisiones por engranes y tornillo sin-fin; guías de deslizamiento; levas; grupos pistón-aro-cilindro; etc. [14] y es el típico en las zonas de contacto del par tribológico anillo del sincrónico - rueda dentada, objeto de estudio.

Desgaste abrasivo: El desgaste o mecanismo abrasivo es el que aparece como resultado de la acción cortante de un agente externo, por lo que está determinado por la presencia de partículas abrasivas en la zona de fricción. En este caso la destrucción de la superficie ocurre como resultado de la deformación plástica local microrralladuras y microcortes. En presencia de un movimiento tangencial, la superficie dura se deslizará formando surcos en la superficie de menor dureza y desprende a la vez material de éste.

Puede aparecer en los mecanismos y elementos de transmisión cerrados como los engranes, sincrónicos, etc., en la medida en que se puedan introducir contaminantes abrasivos no deseados, lo que está vinculado a prácticas inadecuadas de mantenimiento, mala manipulación y almacenamiento de los lubricantes, etc.

Desgaste corrosivo-mecánico: El desgaste corrosivo mecánico se produce como resultado de la interacción dinámica de las influencias de contacto y de las condiciones del medio en que se produce. Cuando se habla de desgaste corrosivo normalmente se considera como un proceso en que la destrucción ocurre debido a la acción química o electroquímica del medio exterior.

1.4. Métodos de evaluación de los desgastes:

Los desgastes pueden evaluarse de diferentes métodos dentro de los que se encuentran[15]:

1. Por el método de isótopos radioactivos
2. Por el contenido de productos de desgaste en los lubricantes usados o de desechos.
3. Por la determinación de los valores mediante micrometraje neumático.
4. Por la utilización de indicadores de carátulas.
5. Por determinación de los valores mediante micrometraje tensométrico.
6. Por la determinación de los valores mediante el método de Taber.
7. Por el método gravimétrico o diferencia de peso.

Todos los métodos antes enumerados son utilizados para evaluar el desgaste en los diferentes tipos de ensayos en dependencia de las características de cada material a ensayar, condiciones de trabajo del par tribológico, mecanismos de desgaste presentes, etc. y el tamaño de las probetas que se desean someter al ensayo. Diferentes normas, establecen las metodologías, parámetros de ensayo y de las muestras, etc., según sea el caso

Para los anillos del sincrónico es necesario asumir o seleccionar la norma que más se ajuste a las condiciones y mecanismos de desgaste presentes en los mismos, a partir de la cual se deben seleccionar o diseñar y construir los dispositivos o equipos y el procedimiento a seguir durante los ensayos.

De acuerdo al mecanismo de desgaste identificado en los anillos, donde predomina el mecanismo adhesivo, el ensayo debe realizarse en una máquina o banco de ensayos para este tipo de mecanismo, pudiendo ser la norma ASTM G 77 [16], la más apropiada y en la que se establecen los requisitos y procedimientos a seguir.

La necesidad de la caracterización del comportamiento de la resistencia al desgaste, el hecho de no contar con un laboratorio de tribología ni máquinas o equipos para los ensayos de desgaste, y los intereses de la Empresa Militar Industrial de Sancti Spíritus, de contar con un equipamiento que permita realizar ensayos de desgaste en condiciones de taller, se hace conveniente y necesario el diseño y construcción de un dispositivo para tales característica cumpliendo con los requisitos impuestos por la norma seleccionada.

Capítulo II

Diseño y construcción de dispositivos para ensayos de desgaste adhesivo.

2.1. Criterios y requisitos para la medición de la resistencia al desgaste de los anillos del sincrónico del ZIL 130-131.

Como criterio para desarrollar los ensayos de desgaste se parte de las condiciones de operación y de trabajo de los anillos y de la forma y los mecanismos de desgaste presentes. Según los estudios y conclusiones de Amberley [4], referidas en el Capítulo anterior, epígrafe 1.2., "Los anillos de freno del sincrónico de la caja de velocidad del ZIL 130-131, están sometidos en explotación a un ***mecanismo de desgaste adhesivo como principal***, con la influencia de altas ***presiones y ligeros impactos*** entre las superficies de deslizamiento y un ***mecanismo abrasivo ligero como secundariamente***, dado por el efecto de los contaminantes indeseados que se introducen en el aceite".

El mecanismo de desgaste adhesivo, se presenta cuando en el desplazamiento relativo entre las superficies existe el contacto metal-metal [15]. La Norma ASTM. G 77 [16], establece los parámetros y procedimientos de laboratorio para determinar la resistencia al desgaste de los materiales que trabajan con fricción bajo contacto metal-metal de manera.

La prueba, según la norma ASTM G77, se basa en el desplazamiento relativo y fricción de una zapara o bloque de ensayo sobre un anillo (Figura 2.1), desgastándose ambos durante el ensayo bajo determinadas cargas o esfuerzos y otros parámetros, de manera que se simule con determinada aproximación las condiciones en que ocurre el desgaste durante la explotación.

El volumen de la huella o desgaste del bloque se calcula a partir de la anchura de esta, y en el anillo se calcula por el volumen de la pérdida de peso del mismo. La fuerza de rozamiento necesaria para mantener el bloque en su lugar se fija para todo el tiempo de la prueba.

En la norma se describe que para comenzar el ensayo se arranca la máquina sin peso, luego suavemente se le añade la carga y respecto a esta, las revoluciones del motor ó máquina que se emplee en el ensayo. Si la carga requerida es menor de 133 N, se aplica la carga en un solo paso. La concentricidad del diámetro exterior y el diámetro interior puede representar el único factor crítico de dicho ensayo. El diámetro interior del anillo es opcional, dependiendo del diseño de la máquina su forma cónica se ajusta a una serie de máquinas estándares.

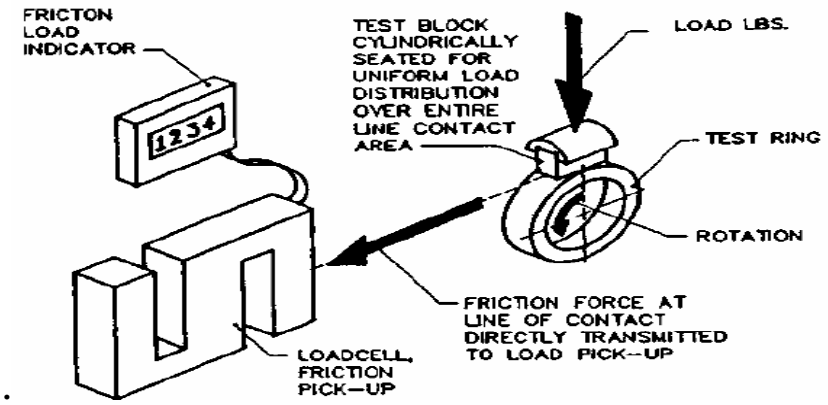


Figura 2.1. Representación del ensayo según la norma ASTM G77

En la figura 2.2, se reflejan las dimensiones básicas del bloque y del anillo para el ensayo según la norma ASTM G77.

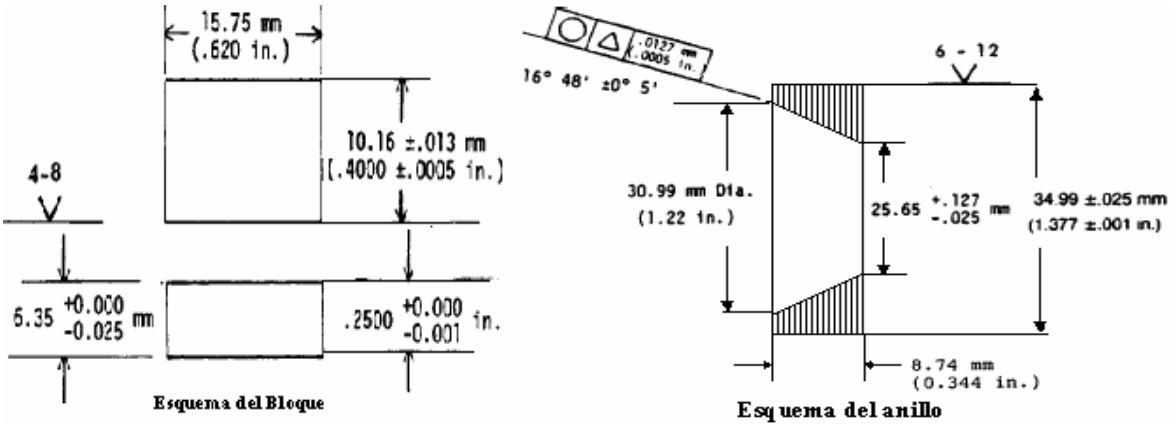


Figura 2.2. Esquema del bloque y del anillo para el ensayo según la norma ASTM G77

La norma brinda determinada flexibilidad en los parámetros de los dos elementos para ajustarse a las características del equipo o máquina existente, así como, en los parámetros o requisitos de ensayo, como velocidad, sustancia o sustancias (aceites, partículas, etc.), los que pueden ser ajustados o seleccionados según los requerimientos.

En este caso los ajustes se realizan para que el dispositivo permita su uso montado sobre un torno universal o banco de ensayo universal y que además se puedan ensayar una amplia gama de materiales, particularmente para medir o determinar desgastes relativos.

Es requisito, cuando se hacen ensayos para determinar resistencia al desgaste relativo, que todos los elementos (bloques y anillos), así como el régimen y duración del ensayo, sean iguales.

2.2. Diseño y características del dispositivo para los ensayos de desgaste.

El equipamiento completo cuenta de dos componentes o conjuntos (dispositivo porta muestra o "bloque" y conjunto con anillo de ensayo). El dispositivo porta muestra constituye el elemento más complejo dado que además de garantizar la sujeción de la muestra o bloque de ensayo, regula también la carga bajo la cual se desarrolla el ensayo. Este dispositivo se rediseñó a partir del esbozo en una primera versión con solo un dimensionamiento general del conjunto desarrollada por Pérez[5] (figura 2.3) y las recomendaciones de la norma ASTM G77 [16], garantizando los propósitos expuestos en el epígrafe anterior, con la mayor sencillez para su construcción y utilización en los ensayos

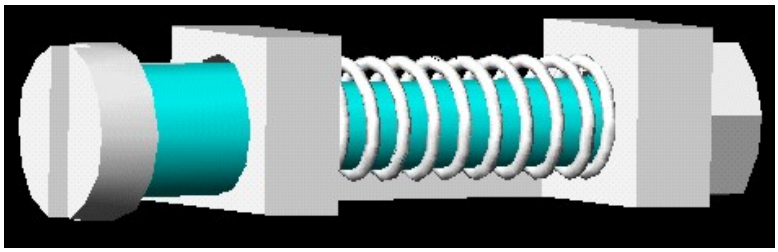


Figura 2.3. Esbozo general del dispositivo [6]

En la figura 2.4, se muestra el dispositivo ya construido con sus partes principales y en anexos se exponen los planos de las piezas fundamentales dimensionadas y diferentes fotos de los elementos constructivos que lo componen.

El dispositivo sobre el cual se fija el anillo de ensayo (figura 2.5.) está constituido por un pequeño eje roscado en su extremo y sobre el cual se monta el anillo. El disco o anillo debe construirse de acero templado, preferentemente del mismo material que el piñón que forma el par tribológico en la caja de velocidad, se recomienda el acero AISI 1045 con temple [17], por estos motivos se selecciona como anillo un cojinete de deslizamiento 203, que tiene las pistas exterior e interior fijas mediante arandelas y tuerca de apriete. Para el ensayo se monta en el torno entre centros con perro de arrastre, en posición que permita el contacto entre el borde

exterior de la probeta con la superficie cilíndrica exterior del anillo mientras gira a determinadas revoluciones.

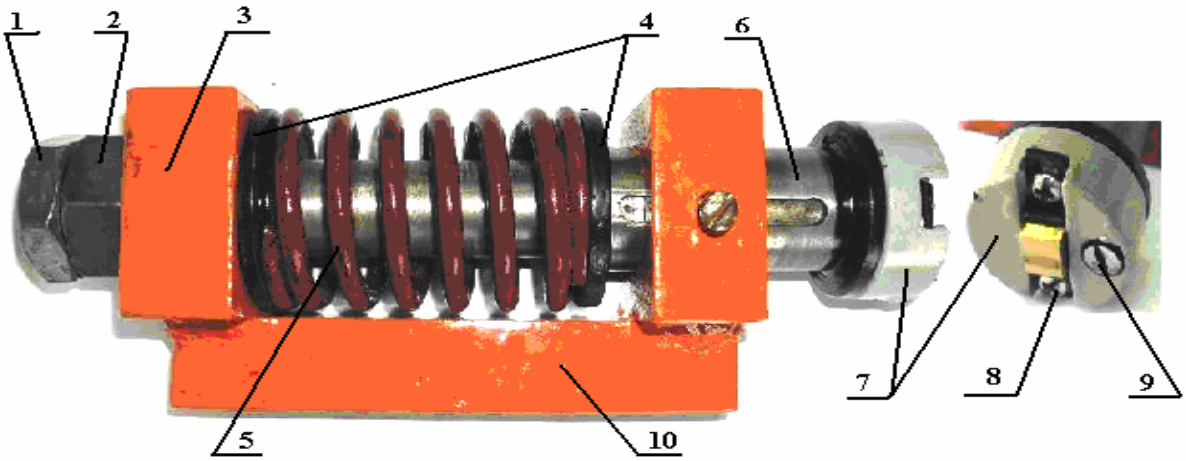


Figura 2.4. Dispositivo construido para el ensayo de desgaste
1, Tuerca de fijación; 2, Tuerca de regulación; 3, Cuerpo soporte; 4, Arandelas tope; 5, Muelle de carga; 6, Eje; 7, Portamuestra; 8, Tornillo de fijación de la probeta; 9, Tornillo de fijación del portamuestra; 10, Zona de fijación del dispositivo.

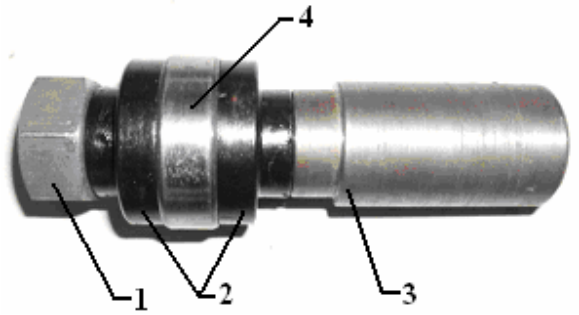


Figura 2.5. Dispositivo porta anillo

1, Tuerca de apriete; 2, Arandelas de fijación; 3, Eje; 4, Anillo de fricción.

2.3. Funcionamiento del dispositivo.

La carga bajo la cual se realiza el ensayo de desgaste se regula y controla mediante el esfuerzo de compresión del muelle que previamente se calibra y se establece la escala esfuerzo-desplazamiento considerando la constante elástica del muelle [18].

Para la calibración del muelle se fijó el dispositivo de forma vertical, con la superficie de fijación del portamuestra hacia arriba quedando el muelle libre (cero carga y cero

desplazamiento). Se coloca en la parte inferior un reloj indicador de carátula con apreciación de 0,01mm, regulado a cero. En la parte superior del portamuestra se le colocaron cargas crecientes (5, 10 y 15 kg.); midiéndose el desplazamiento (compresión del muelle) con el indicador de carátula para cada carga. Teóricamente con una sola carga sería suficiente para obtener la recta de la constante elástica, sin embargo tres mediciones contribuyen a disminuir los errores posibles en la medición.

La carga seleccionada a aplicar en el ensayo, se fija primeramente en el dispositivo comprimiendo el muelle mediante la tuerca de regulación y la de fijación (Figura 2.4), hasta el desplazamiento que corresponde a dicha carga, medido con un reloj indicador de carátula con apreciación de 0,01mm.

Para los ensayos, el dispositivo (Figura 2.4), se monta en el portaherramientas del torno por la zona de fijación, figura 2.6. La zapata o bloque objeto de ensayo, que en este caso lo constituye y se construye del material del anillo del sincrónico o del material obtenido para el relleno, se fija en el portamuestra en el extremo del eje, figura 2.4. El disco o anillo, sobre el que se presiona el bloque, se fija en el eje con las dos arandelas de fijación, figura 2.5 y a su vez este dispositivo se monta en el torno entre centros con un perro de arrastre, figura 2.6.

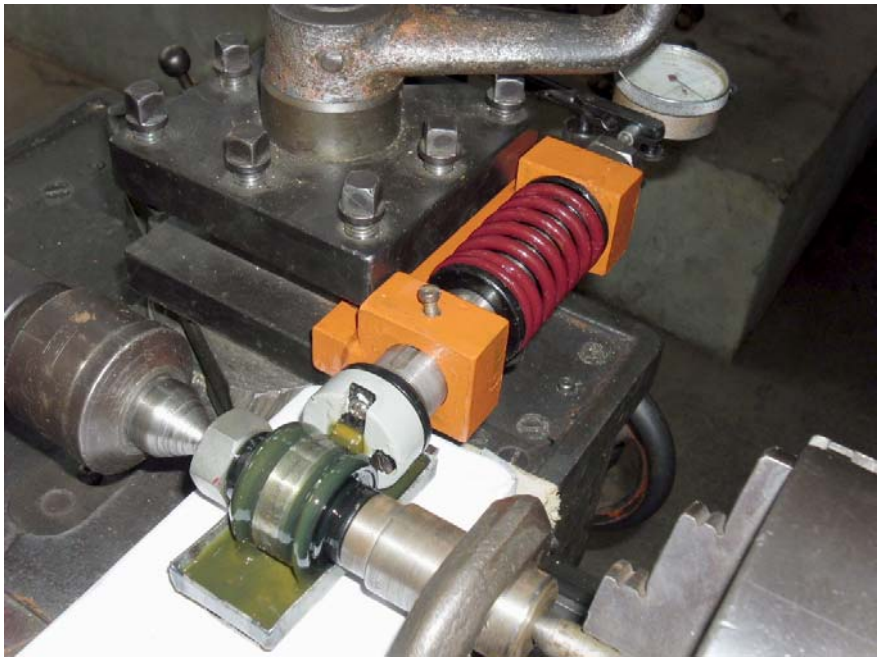


Figura 2.7. Montaje del dispositivo

Capítulo III

Materiales y Métodos

Para la Obtención y Caracterización del Material de Relleno.

3.1 Selección y fundamentación de un material de relleno para los sincrónicos.

Para el relleno de superficies desgastadas no necesariamente el material de aporte debe ser igual o similar al metal base, sino garantizar la resistencia y durabilidad necesaria al desgaste en las condiciones de trabajo de la pieza que se recupera. Sin embargo, en principio el material más idóneo para el relleno debe poseer propiedades químicas, físicas y mecánicas, y en particular resistencia al desgaste similar o superior a la de las piezas originales.

Siguiendo este criterio, se seleccionó en la investigación la utilización como material de aporte, varillas del mismo material de los anillos del sincrónico, obtenidas a partir de anillos desechados mediante la fusión de estos y vertido en moldes metálicos. Este proceso implica que existirán cambios en la composición química y otras propiedades en el material obtenido con relación al material original utilizado, aunque se conservarían en gran medida las propiedades, químicas, físicas y mecánicas. No obstante estas propiedades finales interactuando en conjunto pueden dar como resultado una resistencia al desgaste satisfactoria.

Teniendo en cuanta la gran cantidad de anillos desgastados y acumulados, esta solución permite satisfacer la demanda de la empresa por años con ventajas tales como:

1. Obtener piezas recuperadas con un comportamiento y durabilidad similar al de las piezas nuevas.
2. La sustitución de importaciones en materiales de aporte especiales con precios significativos en el mercado, lo que está en plena correspondencia con la política actual del país [19].
3. Lograr la solución en la propia empresa y con los medios y recursos de esta, lo que se traduce en mayor independencia con relación a firmas proveedoras [3].
4. La reutilización de un material hasta el momento desechado como chatarra para materias primas.

3.2. Obtención del material para el relleno del sincrónico.

Para la obtención del material de relleno se hace necesaria la fusión del metal de los anillos de sincrónicos desechados, y vertido en moldes para la obtención del material en forma de varillas que permitan ser depositadas por proceso de soldadura en el relleno.

Para la evaluación y caracterización del material se obtuvieron probetas fundidas en moldes que determina su forma en correspondencia con el tipo de ensayo o análisis de laboratorio

Para obtener las probetas se utilizaron y evaluaron dos fuentes de energía o métodos de fusión:

1- **Mediante un horno eléctrico**

2- **Mediante llama oxiacetilénica.**

Estos métodos por sus características propias difieren en el procedimiento, parámetros de aplicación e intensidad de los fenómenos metalúrgicos sobre el metal fundido, que pudieran determinar en sus propiedades y en el comportamiento al desgaste.

3.2.1 Obtención de las probetas mediante fusión en horno eléctrico.

La fusión se realizó en un horno eléctrico tubular de laboratorio, figura 3.1, utilizando un crisol de cerámica para la fusión del metal. El metal a fundir se preparó por corte en cizalla en trozos de 10 – 20 mm de longitud.

La temperatura del metal fundido en el horno se llevó hasta valores de 970 – 1000 ºC para el vertido y el tiempo total en el proceso de elevación de la temperatura y estabilización hasta el vertido, fue de tres horas. La temperatura máxima no debe sobrepasar este entorno para garantizar que no se forme el eutéctico de óxido de cobre de alta fragilidad.

El vertido y obtención de las muestras destinadas a los análisis de laboratorio (análisis químico, dureza, observaciones metalográficas y ensayos de desgaste), se realizó sobre moldes de grafito elaborados para tal efecto, figura 3.2.

Para la evaluación se obtuvieron tres réplicas del metal fundido y vertido.

Los moldes se precalentaron antes del vertido a temperaturas aproximadamente de 250 ^{o}C, en una estufa marca Heraeus (Alemania), con rango de temperaturas hasta 300 ^{o}C, figura 3.3,

con el fin de garantizar un tiempo de solidificación adecuado para la fluidez necesaria en el vertido y llenado del molde.

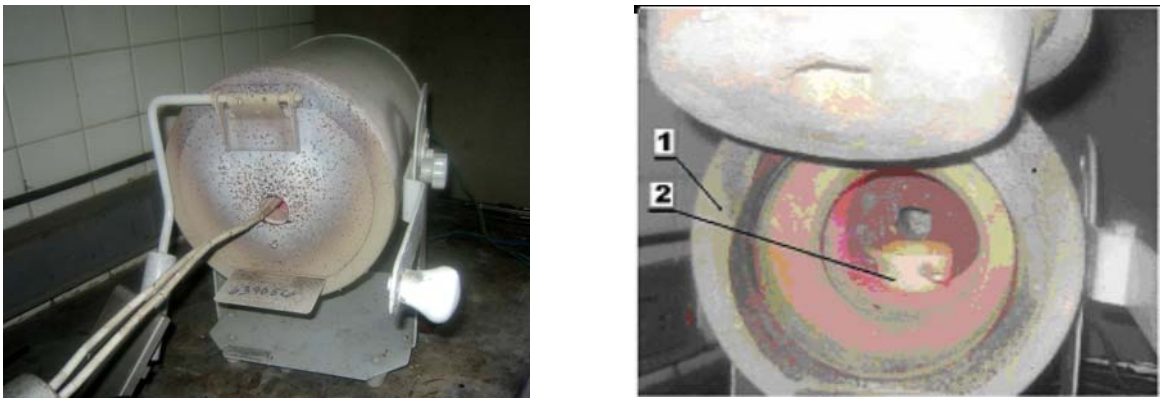


Figura 3.1 Horno eléctrico utilizado en el proceso de fundición

1, horno eléctrico; 2, crisol de cerámica

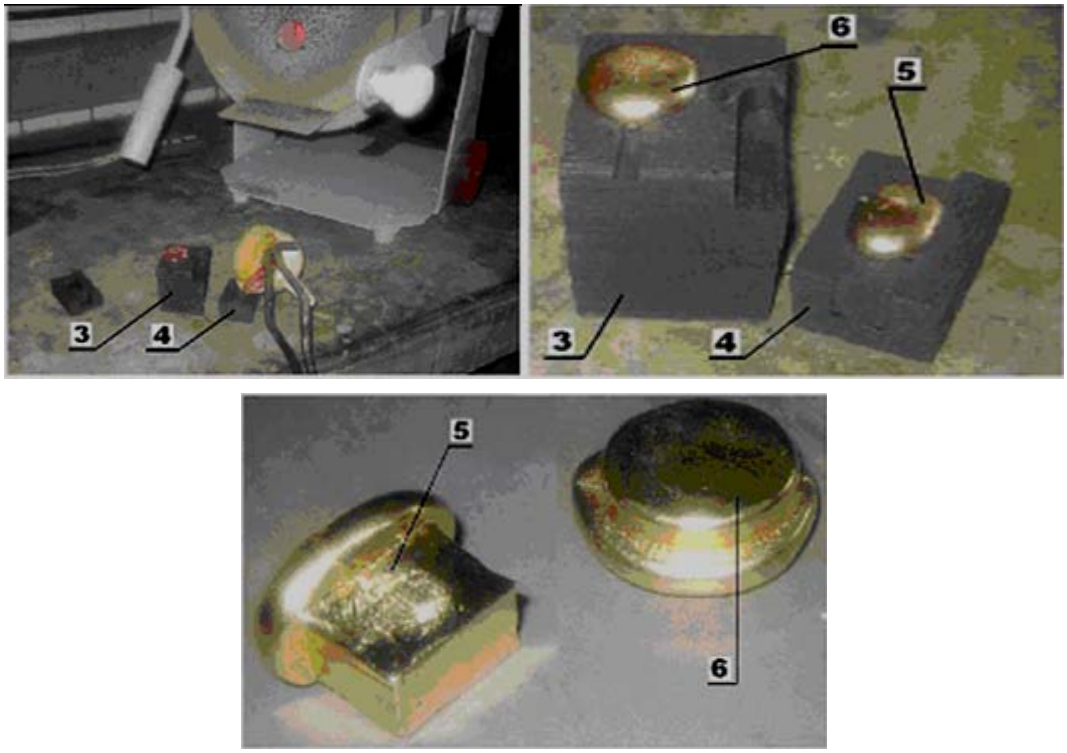


Figura 3.2 Vertido del material en los moldes.

3 y 4, moldes de grafito; 5 y 6, probetas del metal vertido y solidificado en los moldes (5, probeta para ensayo de desgaste; 6, probetas para análisis químico, dureza y metalografía)

Figura 3.3 Estufa utilizadas en el precalentamiento de los moldes de grafito

3.2.2 Obtención de las probetas mediante fusión con llama oxiacetilénica.

La fusión con llama oxiacetilénica se realizó utilizando un crisol de grafito, figura 3.4, con orificio de vaciado inferior, aunque sus dimensiones pequeñas permiten el vertido mediante el giro sobre el molde. De la misma forma que para la fusión en el horno, el metal utilizado fue cortado en pequeños pedazos de 10-20 mm de longitud.

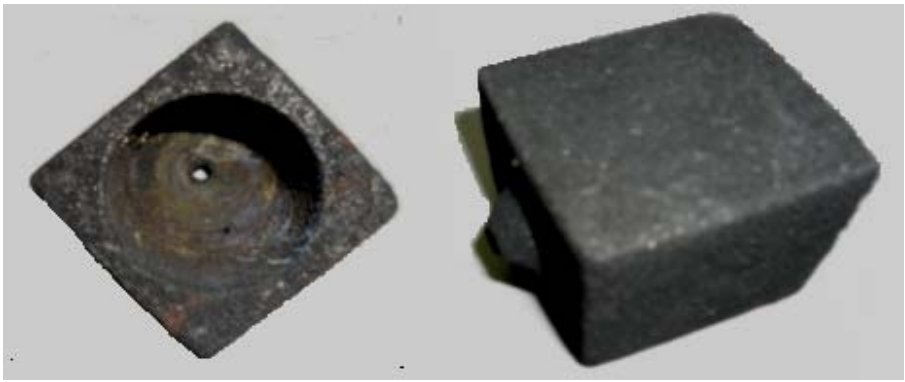


Figura 3.4 Crisol de grafito utilizado en el proceso oxiacetilénico.

La fusión se realizó con una llama oxidante en la primera etapa del calentamiento y finalmente la fusión y estabilización de la temperatura con llama neutra, para obtener las mínimas perdidas por oxidación de los elementos componentes de la aleación [20].

El tiempo total de calentamiento, fusión y estabilización del metal fundido para el vertido fue de 4 – 7 minutos.

El vertido y obtención de las muestras destinadas a los análisis de laboratorio se realizó sobre los moldes de grafito, figura 3.2, los que fueron precalentados en el proceso, ubicados junto al crisol con incidencia sobre ellos de la llama o su temperatura.

Para la evaluación se obtuvieron tres réplicas.

3.3. Caracterización de los materiales obtenidos.

3.3.1. Análisis de la composición química

Para la determinación de la composición química pueden usarse métodos tales como emisión atómica (espectral), absorción atómica, vía húmeda, carbonimetría, rayos-X, entre otros. En este caso el análisis químico se realizó mediante emisión atómica (espectral), en un equipo SpectroLab (figura 3.5), en los laboratorios de la Empresa Planta Mecánica en la provincia de Villa Clara.

3.3.2. Análisis metalográfico

Las observaciones metalográficas se realizaron a las muestras pulidas y atacadas, con un Microscopio metalográfico marca NOVEL, modelo NJF-120A, figura 3.6. Las imágenes fueron registradas por medio de una cámara digital marca Canon, modelo A630, resolución 8 M Píxel.

Las muestras fueron pulidas en una máquina pulidora de plato, con la utilización de lijas y pastas abrasivas, y posteriormente se atacó la superficie para el revelado de la estructura y la observación en el microscopio.

El ataque de las aleaciones de cobre se puede realizar según la aleación con: Persulfato de Amonio y con hidróxido amónico, H_2O y persulfato amónico al 2.5%, en proporciones de 1:1:2 respectivamente. En este caso el ataque de las superficies pulidas se realizó con una solución de Persulfato de Amonio al 10 % garantizando un buen revelado de la estructura. .

Figura 3.5. SpectroLab equipo de Planta Mecánica.

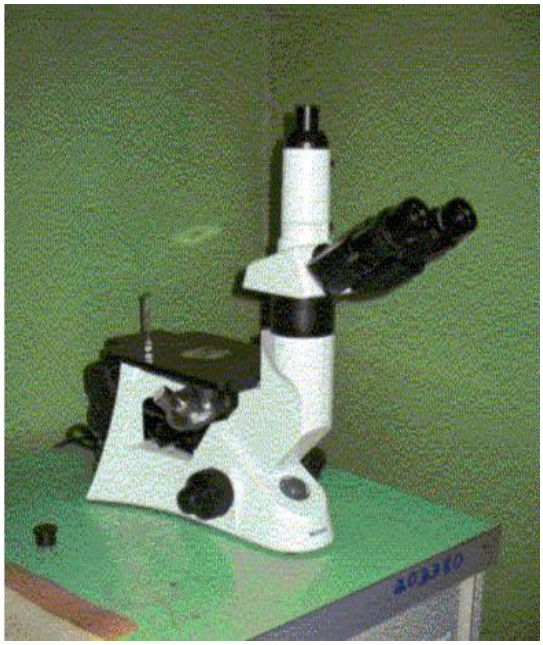


Figura 3.6. Microscópio metalográfico marca NOVEL.

3.3.3. Medición de la dureza

La medición de la dureza se realizó con el Durómetro Vicker marca Hecke, figura 3.7. La carga aplicada fue de10 kg/mm$^{2.}$ En cada probeta se realizaron cinco mediciones y se promediaron los valores para tomar el resultado.

Figura 3.7. Durómetro Vicker marca Hecke

3.3.4. Ensayos de desgaste y determinación del desgaste relativo

Realización de los ensayos de desgaste

Los ensayos de desgaste se realizaron con los dispositivos diseñados y construidos (Capítulo II), siguiendo las instrucciones para su uso descritas en el epígrafe 2.3.

La velocidad de giro del anillo se seleccionó de acuerdo a los requerimientos y dentro de la gama permisible del torno en correspondencia con los requerimientos de la norma ASTM G 77 [16]. En este caso el valor de velocidad de giro fijado para los ensayos fue de 180 rpm. La carga aplicada fue de 10 kg y el tiempo de duración del ensayo de 1 hora.

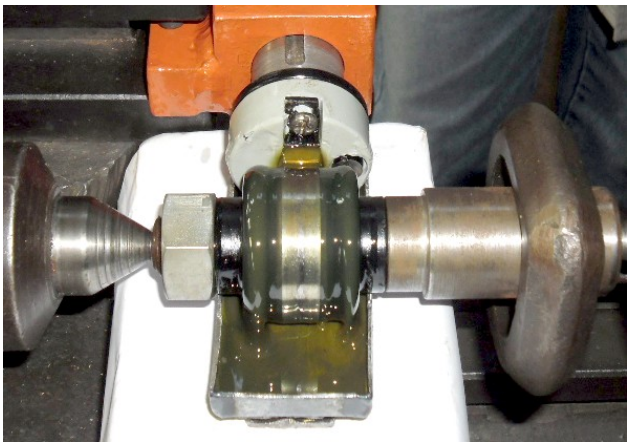
Para simular las condiciones de trabajo de los anillos del sincrónico, los ensayos se realizaron con lubricación (aceite Multi A) y se añadió al lubricante partículas abrasivas de arena sílice con tamaño de grano $\leq$ 0,075 mm en proporción de 0,8 g por 10 cm^3 de aceite[21]. Las partículas abrasivas desarrollan la acción de abrasión muy ligera como mecanismo secundario en el par y permiten una disminución relativa del tiempo necesario para el ensayo.

La lubricación de las superficies durante el ensayo se garantiza mediante un recipiente con el lubricante, ubicado en la parte inferior del anillo de acero, de forma tal que el mismo penetre

en el aceite durante el giro, figura 3.8 y arrastre, junto con las arandelas de fijación, el lubricante con las partículas en suspensión homogenizando la mezcla.

Antes de iniciar el ensayo con las probetas a evaluar, se monta en el portamuestra una probeta de latón y se desarrolla el proceso por un tiempo aproximado de 10 minutos, en cuyo tiempo se homogeniza y estabiliza el lubricante y se realizan los ajustes y alineación del dispositivo.

Cada probeta a ensayar se somete a un asentamiento con el cilindro de acero durante cinco minutos, antes del pesaje para garantizar en todas las probetas igual rugosidad inicial.



3.8. Lubricación de las superficies durante el ensayo

Preparación de la muestra para el pesaje antes y después del ensayo

El pesaje de las probetas antes y después de los ensayos se realizó en una balanza Sartorius con apreciación de 0.0001 g, figura 3.9.

Figura 3.9. Balanza analítica Sartorius

Antes del pesaje las probetas se limpiaron y lavaron con gasolina, alcohol y finalmente con agua destilada. El secado se realizó con calor en estufa. La limpieza y secado con telas incorpora partículas a la superficie que altera el valor real de la masa al pesar [16].

Determinación del desgaste relativo

Para la medición del desgaste en las muestras se utilizó el método gravimétrico [15, 17]. Este método generalmente se utiliza para la determinación del desgaste de piezas pequeñas y consiste en el pesaje de las muestras (bloques) ensayadas, en una balanza analítica o de precisión, antes y después de los ensayos. Es necesario el lavado y secado de las muestras (bloques) ensayadas antes y después de ser terminado el proceso de ensayo, como exigencia del proceso para eliminar los productos del desgaste, grasas y otras inclusiones que pueden afectar la obtención de los valores reales en el pesaje.

Los ensayos de desgastes relativos tienen ventajas pues permiten variar parámetros de acuerdo con las dimensiones del material a ensayar en correspondencia con las velocidades de giro, carga, tiempo de ensayo, tipo de lubricante entre otras; los cuáles siempre tienen que comportarse de igual manera para las distintas probetas que serán ensayadas y comparadas posteriormente.

Siguiendo la norma ASTM G77 [16] y experiencias y recomendaciones de Herrera [17], para la determinación de la magnitud del desgaste relativo de los materiales ensayados y determinar el de mayor o menor durabilidad, se utiliza la relación entre el desgaste absoluto en peso de la muestra patrón (G_P), en este caso el material del anillo original y el desgaste absoluto en peso de la muestra que se evalúa (G_E) obteniéndose como resultado el coeficiente de desgaste relativo (kd).

$$kd = G_P / G_E$$

Los valores de kd >1 significa mayor resistencia al desgaste del metal evaluado, que el del metal de la pieza o patrón y kd < 1 lo contrario; estos valores permiten pronosticar con aproximación la durabilidad o vida útil de la superficie rellenada con relación a la superficie original en la pieza nueva.

3.4. Obtención del electrodo para relleno de los anillos desgastados del sincrónico.

Una vez seleccionado el proceso de fusión más adecuado, la obtención del material en forma de varilla como electrodo para el relleno se realiza mediante la fusión y el vertido del metal líquido en un molde de acero, figura 3.10.

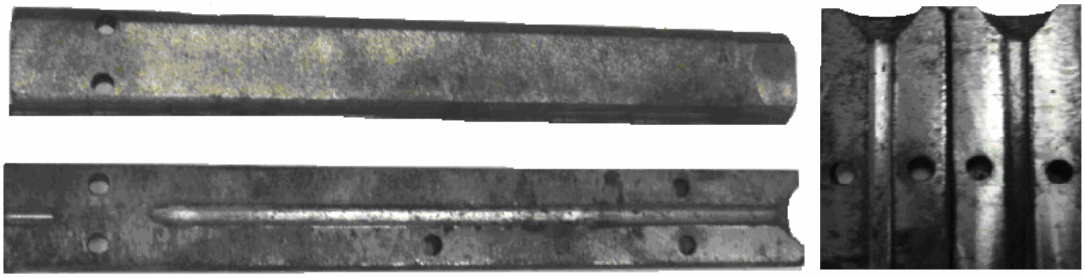


Figura 3.10. Molde metálico para la obtención de las varillas para el aporte.

Para la fusión, los anillos de sincrónicos desechados se cortan en trozos del tamaño requerido para el caso y antes de la fusión deben ser sometidos a lavado y limpieza para eliminar los restos de aceite o grasas y otras suciedades indeseables.

El vertido se realizará de forma continua según las características del crisol o casuela utilizada. El molde de acero debe precalentarse para garantizar mantener fluidez en metal líquido que se deposita y el correcto llenado, teniendo en cuenta el reducido diámetro a obtener en la varilla (5 mm). El cono en la parte superior del molde formando un embudo (Figura 3.10), facilita la operación de llenado.

Capítulo IV
Resultados y Análisis

4.1. Resultados de la obtención del material por fusión y vertido para el relleno de los anillos de los sincrónicos.

El tiempo promedio de duración de 3 horas para la fusión en el horno es resultado de las dimensiones del mismo por ser de laboratorio. El mismo proceso en un horno de dimensiones mayores o mediante la fusión en cuchara en una fragua u otra fuente de calor similar pudiera ser mucho menor y más productivo el proceso.

De las tres replicas obtenidas por fusión en el horno, identificadas con los números 1, 2 y 3, fue necesario desechar la número 2, debido a errores producidos durante la etapa de estabilización de la temperatura para el vertido.

El tiempo de fusión con llama oxiacetilénico no sobrepasó los siete minutos en las réplicas. Este tiempo muy inferior al del horno se debe a la alta temperatura de la llama (superior a los 2000 ^{o}C) y su incidencia directamente sobre el metal, lo que hace el proceso más rápido y relativamente sencillo para la implementación en la empresa.

En ambos casos el vertido y llenado de los moldes se desarrolló satisfactoriamente, obteniéndose un metal fundido sin poros.

4.2. Caracterización de los materiales obtenidos para el relleno de los anillos sincrónicos

4.2.1. Composición química de las probetas obtenidas de los anillos del sincrónico.

En la tabla 4.1 y 4.2, se muestran los resultados de los análisis químicos promedio del material obtenido mediante la fusión en horno y con llama oxiacétilenico y vertidos en molde respectivamente.

Al comparar entre sí los resultados de los análisis químicos de los materiales obtenidos (Tablas 4.1 y 4.2), y con la composición del metal original del sincrónico, obtenida por el mismo método en la caracterización hecha por Amberley [4], descrita en el Capítulo I,

epígrafe 1.2, tabla 1.2 se observa que a pesar del proceso de fusión, tanto en horno como con llama, no se produjeron diferencias significativas.

Las perdidas mayores se aprecian en el cobre, que fue el elemento que más se oxidó en ambos procesos, lo que se tradujo en incrementos en % del Zn y la mayoría de los demás elementos, no obstante por la composición se mantienen ambos materiales obtenidos como una aleación de latón bifásico α+β de acuerdo con su ubicación correspondiente en el diagrama Cu-Zn

Tabla 4.1 Resultado de los análisis químicos del material de los anillos fundidos en horno y vertido en molde de grafito.

Cu	**Zn**	**Mn**	**Al**	**Si**	**Fe**	**Ni**
52.07	**42.30**	**2.31**	**1.064**	1.229	0.072	0.132
Pb	**Mg**	**Cr**	**C**	**S**	**P**	**Sn**
0.765	<0.001	0.019	0.001	<0.0010	<0.0119	0.034
Los valores son el promedio de cinco mediciones (chispazos).						

Tabla 4.2. Resultado de los análisis químicos del material de los anillos fundidos con llama oxiacetilénica y vertido en molde de grafito.

Cu	**Zn**	**Mn**	**Al**	**Si**	**Fe**	**Ni**
54,6	42,2	1,66	1,01	0,184	0,039	0,082
Pb	**Mg**	**Cr**	**C**	**S**	**P**	**Sn**
0,178	-	0,005	0,005	0.001	0,0119	0,027
Los valores son el promedio de cinco mediciones (chispazos).						

El % de los principales elementos que determinan en las propiedades de la aleación del anillo sincrónico, particularmente en la resistencia al desgaste, no sufrieron pérdidas significativas por oxidación.

El Al prácticamente se conserva en los mismos valores para las nuevas aleaciones, mientras que el Mn presenta pérdidas en valor absoluto en la aleación obtenida por fusión a la llama, tabla 4.2, al decrecer en la aleación en 0,3% con relación a la aleación original y para la fusión en horno hubo un incremento absoluto en ese mismo porciento.

Sin embargo, a pesar de ese relativo incremento para la fusión en el horno, se puede afirmar que hubo pérdidas de Mn en ambos procesos por oxidación, ya que en ninguno de los dos hubo adición de ese metal, pero sí estuvo presente la oxidación por la acción del oxigeno. El

aparente incremento de Mn en el metal fundido al horno, se debe particularmente a las pérdidas de Cu que son de un 4% con relación a la aleación original y duplican las de ese mismo elemento en el proceso a la llama. Esas pérdidas, que son las mayores respecto a los demás elementos producen una nueva distribución porcentual de los elementos restantes.

Pudiera considerarse desde un análisis a priori, que las mayores pérdidas se originan en el proceso de fusión a la llama, pues, mientras que en el horno, a pesar del tiempo prolongado para la fusión, el proceso ocurre en el interior de la cámara y prácticamente sin interacción con el exterior, en la llama oxiacetilénica hay un efecto intenso del medio circundante, de la composición de la llama y la alta temperatura de esta, a pesar de su regulación a neutra, y además, el efecto ya señalado de las pérdidas del Cu.

En el proceso de soldadura de aporte como relleno estos efectos se minimizan con el uso y acción de los fundentes y la técnica operatoria aplicada.

4.2.2 Metalografía de las aleaciones obtenidas por fusión con horno eléctrico y con llama oxiacetilénica.

En las figuras 4.1 y 4.2, se muestran las estructuras típicas obtenidas en las observaciones metalográficas realizadas a la aleación de latón, obtenidas con fusión en horno eléctrico y con llama oxiacetilénica respectivamente. Ambas estructuras son típicas de aleaciones de latón bifásicas $\alpha+\beta$, coincidiendo con el resultado de la composición química [8]. Muestran uniformidad en cuanto a la distribución y tamaño de grano, así como, en la orientación cristalina.

Al compararse las estructuras de ambos aleaciones, se observa que no hay diferencias entre las mismas, a pesar de las particularidades ya expuestas de los dos métodos de fusión, pero sí se aprecia diferencia, en cuanto a la forma de los granos, entre estas estructuras y la correspondiente a la aleación original de latón de los anillos de los sincrónicos, usada como material de origen para la fundición. En la aleación original los granos se muestran con forma alargada, no así en las estructuras de las aleaciones obtenidas. Esto puede estar dado porque el anillo de la aleación original ha sido fabricado por conformación (estampado) a partir de un material laminado y los obtenidos, por fusión y vertido en molde donde el grano no ha estado sometido a deformaciones.

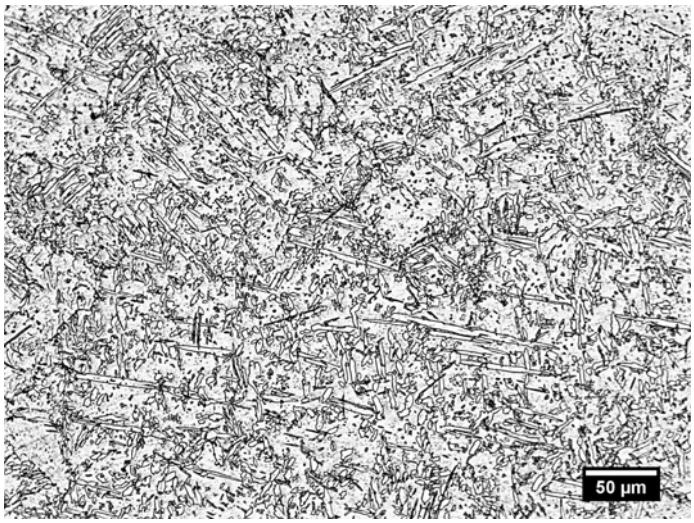


Figura 4.1. Estructura metalográfica típica del metal de latón obtenido por fusión en horno y vertido.

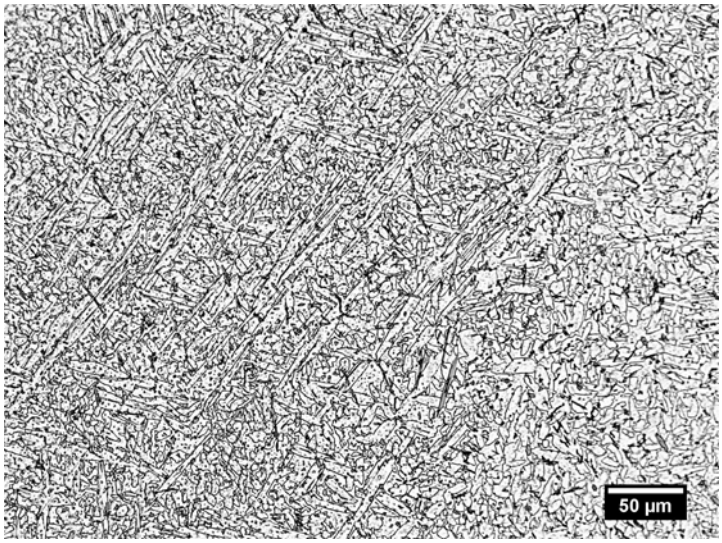


Figura 4.2 Estructura metalográfica típica del metal de latón obtenido por fusión con llama y vertido.

No obstante, la similitud general y alguna diferencia específica en la forma de grano en las estructuras de estas aleaciones, no es correcto pronosticar algún comportamiento diferente en las condiciones de trabajo, al aplicarlas como relleno a los anillos recuperados, ni tampoco el comportamiento en la resistencia al desgaste. En general la incidencia y acción conjunta de la estructura, la composición química y la dureza determinan en gran medida la resistencia al desgaste en los materiales, y en el caso de estas aleaciones de latón se le confiere más

importancia a los elementos de aleación y particularmente a la dureza, cuyo valor mínimo permisible es fijado como requisito por el fabricante [12].

4.2.3 Dureza de las aleaciones obtenidas por fusión con horno eléctrico y con llama oxiacetilénica.

En la tabla 4.3 se presentan los valores de las mediciones de dureza y sus promedios en las diferentes muestras del metal de las aleaciones obtenidas por fusión en el horno y con llama oxiacetilénica.

Tabla 4.3. Valores de dureza de las probetas fundidas con horno eléctrico y con llama

Fuente de energía	**Horno eléctrico**			**Llama Oxiacetilénica**		
Nº de la muestra	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Dureza (Hv)	218	-	200	175	178	172
Promedio Dureza (Hv)	209			175		

Los valores de dureza que más difieren son los de las dos muestras (réplicas), obtenidas por fusión en el horno (en 18 Hv) y cuyo promedio, 209 Hv, es superior al del material original del anillo (157 Hv) y al mínimo especificado por el fabricante como requisito (superior a 135 Hv).

En las réplicas obtenidas por fusión a la llama los valores de dureza se comportaron inferior a los de las obtenidas en el horno, pero mucho más estables, a pesar de ser el proceso a la llama más intenso y menos controlable, lo que pudiera influir en la homogeneidad de la estructura, y composición y por tanto en la dureza. El promedio de dureza de estas muestras (175 Hv) es también superior a los del material del anillo original y que el mínimo especificado por el fabricante.

Los valores de dureza significativamente superior a los de los anillos originales, con la poca variación de la composición química en los elementos más influyentes en las propiedades de las aleaciones y la similitud de las estructuras, infieren que la resistencia la desgaste debe ser igual o superior a la de la pieza original, si se tiene en cuenta lo antes ya expuesto de que la dureza tiene un efecto significativo sobre esa propiedad.

4.2.4 Resultados de los ensayos de desgaste.

En la tabla 4.4, se presentan los resultados de los ensayos de desgaste, realizados con el dispositivo construido y acorde a las recomendaciones y requisitos establecidos por la norma ASTM G 77.

Como puede observarse, el coeficiente de desgaste relativo (kd) se comportó superior al patrón (metal original del anillo del sincrónico), en un 14% para la aleación fundida en el horno eléctrico y en un 17% en la aleación obtenida por fusión con llama oxiacetilénica.

Tabla 4.4. Resultados de los ensayos de desgaste y valores del coeficiente de desgaste relativo

Método de obtención del material	No. Réplica	No. de Probeta	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Diferencia de masa (g)	Prome. (g)	Coefic. kd
Fundida en Horno eléctrico	1	1	9.9509	9.9474	0.0035	0.00340	Kd = 1,14
	2	2	Desechada				
	3	3	9.3769	9.3736	0.0033		
Fundida con llama oxiacetilénica	1	4	10.0981	10.0959	0.0022	0.00330	Kd = 1,17
	2	5	9.6530	9.6495	0.0035		
	3	6	8.3628	8.3595	0.0033		
Material original del anillo sincrónico	1	7	8.5526	8.5470	0.0056	0.00387	Patrón
	2	8	7.9392	7.9365	0.0027		
	3	9	7.4497	7.4464	0.0033		

Estos resultados corroboran que la dureza tiene una influencia importante en la resistencia al desgaste de estas aleaciones para similares composiciones químicas.

Los resultados analizados hasta aquí permiten:

1. Considerar que el material de aporte obtenido, al depositarse como relleno no debe sufrir cambios que alteren sus propiedades y comportamiento, dado que el proceso de soldadura se realiza con el uso de fundentes destinados a proteger el metal depositado y conservar la aleación y sus propiedades, mientras que la obtención durante la experimentación se realizó directamente sin adición de elementos o atmósfera controladas.
2. Pronosticar que la durabilidad de los anillos recuperados mediante el relleno por soldadura oxiacetilénica, será similar o ligeramente superior al de los anillos de latón

original, considerando que el coeficiente de desgaste relativo es un parámetro que permite pronosticar con aproximación la durabilidad o vida útil de la superficie recargada con relación a la superficie original en la pieza nueva.

3. Asegurar que es posible obtener en la propia empresa, con sus propios medios y recursos, el material de aporte con la calidad necesaria para la recuperación de los anillos del sincrónico.

4.3. Análisis económico

Para la realización del análisis económico se pueden utilizar diferentes procedimientos establecidos. En este caso el análisis se realiza de manera representativa para las condiciones y equipamiento de laboratorio en el proceso de obtención del material de aporte destinado al relleno de los sincrónicos.

En procedimiento seguido permite calcular el costo total para la fabricación de un objeto [22]. Para este caso se ha simplificado, aunque tiene en cuenta diferentes partidas de gastos en el proceso de cálculo.

El **Costo Total** (CT) de fabricación del objeto lo constituye la suma de todos los gastos incurridos en el proceso de fabricación del objeto expresados en términos monetarios.

En estos gastos se incluyen, tanto, los **Gastos Directos (GD)** como los **Gastos Indirectos (GI).**

$$\mathbf{CT = GD + GI} \qquad \mathbf{(3.1)}$$

Los gastos directos se tomaran solamente los Costos de la Energía Eléctrica **(C_{EE})** y los Gastos de Salarios Directos en la Producción **(SB),** pues las materias primas utilizadas constituyen un material de desecho (anillos de sincrónicos desechados) de la EMI de Sancti Spíritus al que se le incorporaría valor solo después de reelaborado como un nuevo producto.

Tampoco se tiene en cuenta los costos fijos para el pequeño horno de laboratorio ya depreciado, donde se realizó el proceso de fusión.

Según bibliografías consultadas los Gastos Indirectos **(GI),** para cálculos generales y aproximados, se puede asumir del (15-20) % de los Gastos Directos **(GD).** Para los diferentes indicadores de gastos indirectos las empresas tiene definidos coeficientes que

dependen, entre otros factores, de la eficiencia de la empresa, plantilla de trabajadores, de dirigentes y presupuestos, etc.

Costo total en la obtención de 1 kg de varillas.

$CT = C_{EE} + SB + 0,25 * GD$ **(3.2)**

Precio de la energía eléctrica $0,43 kW/h para horarios normales

C_{EE} = Consumo en kW * Tiempo de trabajo del Horno* precio del kW/h.

Tiempo medio de trabajo del horno = 3 horas, partiendo del horno a temperatura ambiente; Consumo = 3 A, Voltaje = 220 V

Cons. Eléctrico = Voltaje *Intensidad

Cons. Eléctrico =220 V * 3 A= 660 W = 0,66 kW/h

C_{EE} = 0,66 kW * 3 h * $0,43

C_{EE}= 0,85 CUP -Para fundir un anillo del sincrónico equivalente a 343,8 g de metal, considerando perdidas del 10 %.

Como gastos de salario directo **(SB)** se utiliza salario básico de un técnico de fundición calificado 400 **CUP** mensual.

$SB_{MENSUAL}$ = 400 **CUP**

SB_{DIARIO} = 400 **CUP** /24dias = $16,67 **CUP**

SB_{1Horas} = 16,67 **CUP** /8 = 2,08 **CUP**

SB_{4Hora}= 2,08 **CUP** * 4 = **8.33 CUP** - Gasto de salario en las 4 horas de trabajo.

Sustituyendo en la expresión (3,2)

CT = 0,85 +8,33 + 0,25(0,85+8.33)

CT = 11.48 CUP [Costo total en la fundición de un anillo (343, 8 g)]

El peso promedio de anillos de sincrónicos defectuosos es de 382 g. (aunque es un valor que puede variar en dependencia del grado de deterioro de la pieza), con un aprovechamiento de un 90 % en el proceso metalúrgico de obtención de la varilla a utilizar como material de aporte, se obtiene un peso efectivo de 343,8g.

Cálculo del costo de 1 kg del material fundido y vertido en moldes para la obtención de varillas. Aproximadamente 3 anillos.

Costo de un kg = 11,48 CUP * 3 = 34,44 CUP

En la actualidad no hay oferta de materiales de aporte para soldadura o relleno de latón. El precio de un kg de varillas convencional para la soldadura de latón, importado era hace más de un año, superior a los 16 CUC. En estos momentos es por pedidos con mayor precio [23].

Cálculo del material de aporte necesario para recuperar un anillo.

El volumen de la pérdida en cada diente es una figura que se aproxima a un prisma rectangular de lados 0,2, 1 y 1,3, todo en cm, sin inducir con ello error apreciable alguno.

El cálculo del volumen de esta figura se realiza con la fórmula:

V - volumen desgastado en un diente de un sincrónico.

$$V = h * a * b$$
$$V = 0{,}2 * 1 * 1{,}3$$
$$V = 0{,}26cm^3$$

h.- es la altura, **a** es el ancho y **b** es el largo.

Como espesor de material a aportar en el relleno se toma 1,8 en total que en diferencia con el desgaste de 0,2-0,5 máximo desgastado según experiencia en la EMI quedara 1,5 para el maquinado de los dientes recuperados.

V_{total} -volumen total desgastado de un anillo sincrónico.

$$V_{total} = V * 18$$
$$V_{total} = 0{,}26cm^3 * 18$$
$$V_{total} = 4{,}68cm^3$$

P - Peso del material de aporte para recuperar el anillo de un conjunto sincrónico

$$P = V_{total} * Pesoespecífico$$
$$P = 4{,}680{,}26cm^3 * 8{,}75g / cm^3$$
$$P = 40.95g$$

Peso específico del latón 8,75g/ cm^3 [24] tomándose el máximo valor posible de una gama variada de latones similares.

Cálculo de la cantidad de material de aporte obtenido con la fabricación de varillas fundidas de un anillo defectuoso. **Vv: Volumen de una varilla.** Considerando su longitud de 250 mm y su diámetro de 5 mm

$$V_V = D^2 * \pi * L/4$$
$$V_V = 0{,}5^2 * \pi * 25/4$$
$$V_V = 4{,}908 cm^3$$

Pv: Peso de una varilla

$$Pv = V_V * Peso.específico$$
$$Pv = 4{,}908 * 8{,}75 g / cm^3$$
$$Pv = 42{,}95 g$$

Cv, Cantidad de varillas obtenidas con un anillo de sincrónico.

Cv = (Peso de un anillo de sincrónico / Peso de una varilla)

Cv =343,8/42,95 = 8,01varillas

Cantidad de anillos de sincrónicos posibles a recuperar (Cs) con las varillas obtenidas con un anillo fundido, considerando un 5% de pérdidas

Cs = (Cantidad de varillas * Peso de una varilla * 0,95) / Peso en g. del material de aporte para recuperar el anillo de un sincrónico

Cs =8,01*42,95*0,95/40,95

Cs = 7,98 unidades

Es posible recuperar aproximadamente 8 anillos sincrónicos, usando solamente un anillo después de convertido en material de aporte.

Conclusiones

1. Los anillos de freno del subconjunto sincrónico de la caja de velocidad del ZIL 130-131, se fabrican por estampado de una aleación de latón ЛМЦА 57-2-1-1 (GOST 17711-72), identificada como un latón complejo bifásico α+β, según el diagrama de estado Cu-Zn, con dureza superficial a 157 Hv, aproximadamente 50 Hv superior con relación a la aleación no aleada, dado la presencia de 2% Mn, 1% Al y 0,25% Si, como elementos de aleación que elevan su dureza superficial y la resistencia al desgaste, entre otras propiedades.

2. La falla típica de los anillos de latón del sincrónico es el desgaste de las superficies de deslizamiento, sometido en explotación a un mecanismo de desgaste adhesivo como principal, con presiones o cargas que en ocasiones pueden considerarse como un ligero impacto, y una ligera abrasión como mecanismo secundario, producto de la acción de contaminantes indeseados arrastrados en el lubricante.

3. El dispositivo diseñado, construido y utilizado satisfactoriamente para los ensayo de desgaste, se corresponde adecuadamente con la norma ASTM G77 que regula los parámetros y requisitos esenciales para la realización de los ensayos de desgastes que simulan los mecanismos de desgaste de los anillos.

4. Los dos métodos de fusión, en horno eléctrico y con llama oxiacetilénica, utilizados para la obtención del nuevo material, garantizan aleaciones con propiedades y comportamiento de la resistencia al desgaste satisfactorias y similares a la de los discos originales, permitiendo diagnosticar, de acuerdo a los coeficientes de desgaste relativo obtenidos, una durabilidad igual o ligeramente superior en 14% a 17%, en la aleación obtenida con relación al metal de los anillos originales.

5. De acuerdo con los análisis realizados, con un kilogramo de material de aporte obtenido en forma de varilla, es posible recuperar aproximadamente 24 anillos desgastados, mientras que el kg de material de aporte se obtiene aproximadamente con la fusión y vertido en molde metálicos, de tres anillos de sincrónicos desechados

Recomendaciones

1. Aplicar en la Empresa Militar Industrial EMI de Sancti Spíritus, en condiciones de producción mas favorables y económicos, los resultados obtenidos
2. Realizar un estudio económico en condiciones de producción con equipamientos y métodos que permitan una mayor producción y menores consumos de energía para conocer los costos reales de obtención de las varillas y en cuanto se reducen los mismos en relación a los determinados en condiciones de laboratorio.

Bibliografía

1. *Herrera Artiles, A y Acevedo Pérez, M. Mantenimiento y Reparación de Máquinas y Equipos. Ed. UCLV. 2001. 170pp. .*
2. *Herrera Artiles, A. Administración y Organización del Mantenimiento. Monografía. UPONIC. Nicaragua. 2005. 130pp.*
3. *Herrera Artiles, A. Recuperación de Piezas por soldadura y otros métodos. UCLV-UPONIC, Managua. 2005. 205pp*
4. *Nápoles Torres, A: Caracterización del conjunto sincrónico y engranajes de la caja de cambios de velocidades del camión ZIL 130 -131. Trabajo de Diploma. UCLV. Julio 2010.*
5. *Pérez, O: Diseño de un dispositivo para ensayos de resistencia al desgaste de los anillos recuperados del sincrónico de la caja de velocidad del camión SIL 130-131. PIM III. UCLV. 2010.*
6. *Herrera Artiles, A.: Recuperación de piezas. Monografía UCLV-OPONIC. Managua. 1999. .*
7. *Anónimo:Sincronizadores.Disponibleen: http://es.Wikipedia.org/wiki/sincronizadores. Consultado octubre de 2009*
8. *Guliaiev, A. P. Metalografía. Ed. MIR. Moscú. 1983.*
9. *AIMEN, C.T. Copper and Copper Alloys. 2010 Disponible en: http://www.obtesol.es/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=4&id=69&Itemid=30. Consultado. Abril 2010.*
10. *Herrera Artiles, A. Materiales tribológicas. Monografía. UCLV. UPONIC. Managua, 2008. 170pp.*
11. *Colectivo de autores. Recuperación de Piezas por Métodos de Soldadura. Ciudad de La Habana, Ed. Publicaciones IMAGO.*
12. *Anónimo. Camiones ZIL-130, ZIL-157, ZIL- 131 Estructura, Servicio Técnico y Reparación Corriente. 1 Parte. Ed. Autoexport, URSS, MOSCU, s/a.*
13. *Herrera Artiles, A.: Mantenimiento y reparación de máquinas y equipos. (Apuntes para un libro) Editado en UCLV. 1999.*
14. *Álvarez García, E. y Herrera Artiles, A. Tribología. Fricción, Desgaste y Lubricación. Monografía. Cuso Maestría. UPONIC. Managua. 2005.*

15. *Álvarez García, E. Diseño y construcción de máquina para la evaluación del desgaste en pares tribológicos con movimiento alternativo oscilante. UCLV.1998.*

16. *ASTM C77-98, Standard Test Method for Ranking Resistance of Materials to Sliding Wear Using Block-on-Ring Wear Test Designation: G 77 – 98. 1998: p. 1-13.*

17. *Herrera Artiles, A. Sistema alambre-fundente para la recuperación de árboles cigüeñales y otras piezas tipo eje mediante soldadura por arco sumergido. Tesis Doctoral. UCLV. 2006.*

18. *Dobrovolski,Libro ELEMENTOS DE MAQUINAS.*

19. *VI Congreso PCC, Lineamientos de la política Económica y Social del Partido y la revolución. 2011: p. 17,18, 20, 22, 30, 31, 34,3 5.*

20. *Burgos Solas, J.: Tecnología de soldadura. Ed. Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 1989.*

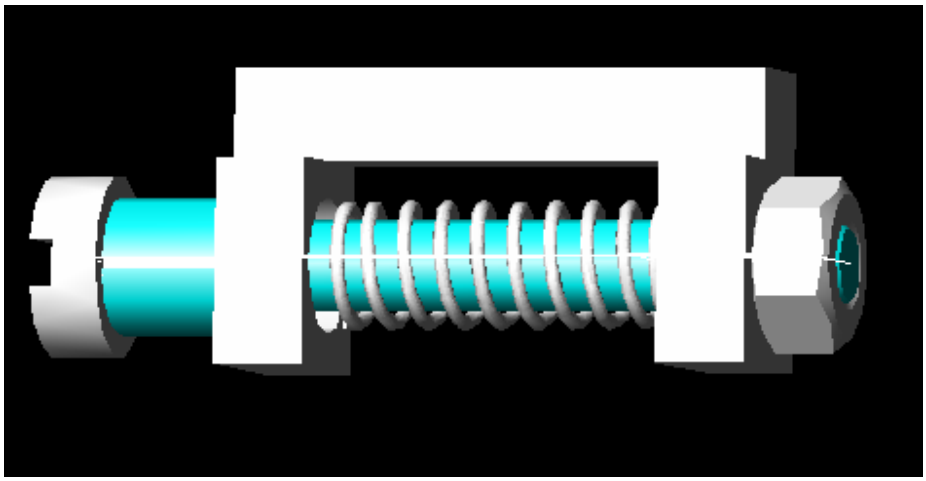
21. *Danenkova, I. V.: Metodología para ensayos acelerados de desgaste relativo de los elementos rotatorios de motores de combustión interna reparados. En Boletín Técnico. Inst. de Investigaciones del Transporte Automotor. Ucrania. 1989.*

22. *Herrera Artiles, A. Recomendaciones para determinar el costo total de un objeto. Conferencia . UCLV. s/a*

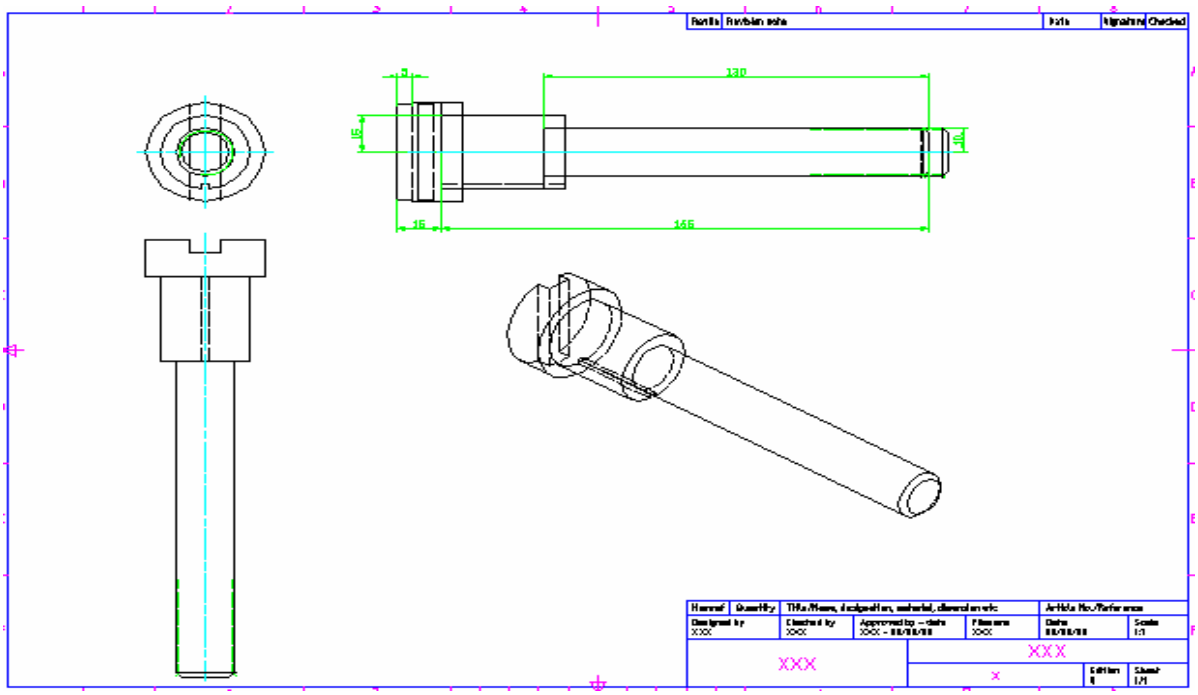
23. *Maquimport V.C., Comunicación personal. 2011.*

24. **James F. Shackelford & William Alexander,** *Materials science and engineering handbook.* **2001. 3ra Ed.: p. Cap. 5, Tabla 98 y 115.**

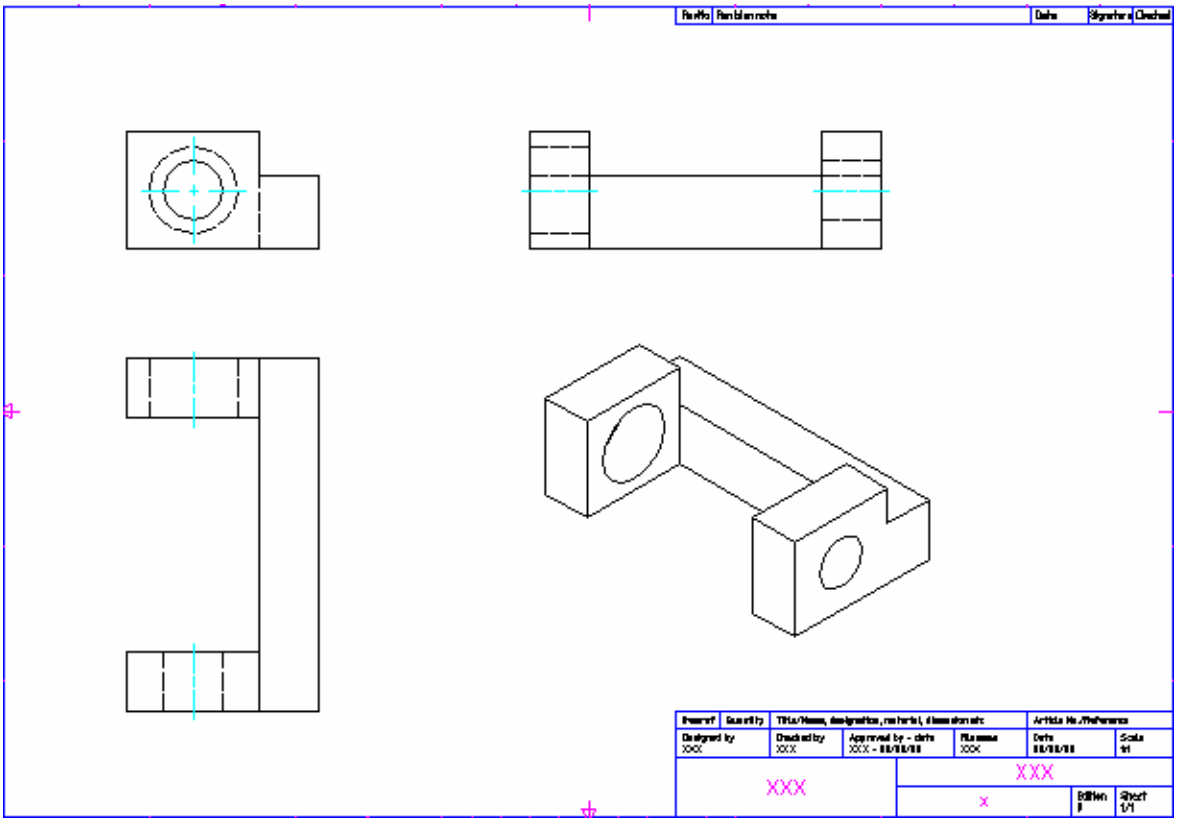
ANEXOS



Anexo 1: Vista del dispositivo en Mechanical Dekstop:



Anexo 2: Plano del eje porta muestra



Anexo 2: Plano del cuerpo del dispositivo