

**UNIVERSIDAD “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE SOLDADURA**



**MATERIAL DE APORTE PARA EL RELLENO DE ANILLOS
SINCRÓNICOS DE LAS CAJAS DE VELOCIDADES DEL
CAMIÓN ZIL 130 Y 131**

Tesis en opción al grado de Máster en Ingeniería Mecánica.

**Autor: Ing. Humberto Wolpes Díaz.
Tutor: Dr. Arnaldo M. Herrera Artiles.**

**Santa Clara.
Junio 2011.**

AGRADECIMIENTOS

A TODOS LOS COMPAÑEROS QUE ME AYUDARON
A DAR ESTE PASO CUALITATIVO EN MI CARRERA PROFESIONAL,
PRINCIPALMENTE A MI TUTOR
Y
ESPECIALISTAS DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE SOLDADURA
DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DE LAS VILLAS

AGRADECIMIENTO ESPECIAL A MI ESPOSA,
QUE SIEMPRE ME ALIENTA A CULMINAR LO QUE EMPIEZO

A MI PEQUEÑA HIJA QUE SIN SABERLO,
ME IMPLULSA A SEGUIR ADELANTE Y ESCALAR PLANOS SUPERIORES PARA
TRATAR DE CORRESPONDER A SUS CRECIENTES EXPECTATIVAS.

LA VIDA ESTÁ LLENA DE OBSTÁCULOS DESDE QUE NACE LA PERSONA.
TODOS TIENEN POSIBLE SOLUCIÓN, EXCEPTO UNO, LA MUERTE.

A LOS QUE DUDARON QUE ESTO FUERA POSIBLE
Y
NO TUVIERON EL VALOR DE CONFESÁRMELO,
PORQUE TENÍAN LA FALSA IDEA QUE ME PODÍAN DESALENTAR,
PIENSO QUE AHORA PIENSEN DIFERENTE Y RECONOZCAN QUE
CUANDO SE QUIERE SE PUEDE
GRACIAS A TODOS.

DEDICATORIA.

EL ESFUERZO Y RESULTADOS

DE ESTE TRABAJO

VAN DEDICADOS

A MI MADRE

Y

A LA MEMORIA DE MI PADRE.

RESUMEN

Con este trabajo se propuso una alternativa práctica y fundamentada para la recuperación de los conjuntos sincrónicos de las cajas de velocidades de los camiones ZIL 130 Y 131 de procedencia rusa, que luego de un largo período de explotación presentaron desgaste en el anillo insertado compuesto por aleación de cobre. Es una pieza importante en el funcionamiento del mecanismo y compleja por estar constituida por dos materiales básicos, acero en el cuerpo y aleación base cobre en el anillo que fricciona con los engranes de acero seleccionados para igualar las revoluciones y facilitar el cambio de marcha. Esta pieza tiene vida remanente en el cuerpo y se aprovechó la parte de latón que tiene desgaste, transformándola en material de aporte para relleno, lo que posibilitó volver a utilizar los sincrónicos defectuosos que se repararon y que durante años se han acumulado, sin gastos elevados ni dependencia de suministradores con el ahorro significativo que esto representó. De esta forma la Empresa Militar Industrial (EMI) “Coronel Francisco Aguiar Rodríguez”, de Sancti Espíritus, que ejecuta la reparación y reconstrucción de la línea de camiones ZIL 130 y 131 correspondiente a la técnica militar de transporte, pudo dar solución adecuada a esta problemática, ya que el proceso de recuperación que empleaba para eliminar mediante relleno el desgaste que presentaba el anillo del sincrónico, no dio resultados satisfactorios. Por eso constituyó una tarea seleccionada dentro del Programa “Triunfo”.

Palabras claves: Conjunto sincrónico, relleno, aleación base cobre.

SUMMARY

This work made a proposal of a practical alternative for the recovery of the synchronic sets of the speeds boxes of the ZIL 130 and 131 trucks of Russian origin, which presented waste in the inserted ring composed by a copper alloy after a long period of exploitation. It is an important and complex piece because it is constituted by two basic materials: steel in the body and an alloy base of copper in the ring, which friccionate with the steel gear selected to level the revolutions and the march change. The overplus life of de body piece was saved and it made possible to use again the faulty synchronic sets repaired and that have been accumulated during years without neither expensive costs nor suppliers dependence so it represented a significant saving. This way the Military Industrial Company (EMI) “Colonel Francisco Aguiar Rodríguez” from Sancti Spirits province that made the repair and reconstruction of the line of ZIL 130 and 131 trucks corresponding to the military technique of transportation, could give a correct solution to this problem, since the recovery process used to eliminate, by means of recharge, the waste of the ring didn’t give satisfactory results. That’s why it constituted a task within Program “The Triumph Program.”

Key words: Synchronous sets, recharge, copper alloy.

Índice

Contenidos.....	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: Fundamentación Teórica.....	6
1.1 Características de las cajas de cambio de los camiones ZIL 130 y 131.....	6
1.2 Características de los sincrónicos en las cajas de cambio de los camiones ZIL 130 y 131.....	7
1.3 Características del par tribológico piñón-sincrónico en las cajas de cambio de los camiones ZIL 130 y 131.....	11
1.3.1 Condiciones de trabajo.....	11
1.3.2 Mecanismos de desgaste del par tribológico anillo-piñón.....	12
1.4 Criterios de recuperación de los sincrónicos.....	21
1.5 Criterios de ensayos de desgaste.....	24
1.5.1 Métodos de ensayos de desgaste.....	24
1.5.2 Particularidades de la Norma ASTM G77 de ensayos de desgaste.....	25
1.6 Aleaciones cobre-zinc.....	26
1.6.1 Características de las aleaciones cobre – zinc.....	27
1.6.2 Influencia de los elementos de aleación en las aleaciones Cu-Zn.....	28
1.7 Conclusiones parciales del Capítulo I.....	34
CAPÍTULO II: Materiales y Métodos.....	35
2.1 Caracterización del material de los anillos cónicos del subconjunto sincrónico y del material ensayado como relleno en la EMI para el relleno.....	35
2.1.1 Preparación de las muestras para el análisis químico, metalográfico y de dureza de los anillos del sincrónico.....	35
2.1.2 Caracterización del material de aporte (relleno) de anillos cónicos recuperados en talleres de la EMI.....	37
2.2 Selección y fundamentación de un material de relleno para los anillos sincrónicos.....	38
2.3 Obtención del material para el relleno del sincrónico.....	38
2.3.1 Obtención de las probetas mediante fusión en horno eléctrico.....	39
2.3.2 Obtención de las probetas mediante fusión con llama oxiacetilénica.....	41
2.4 Caracterización de los materiales obtenidos por fusión.....	41
2.5 Ensayo de desgaste y determinación del desgaste relativo.....	42
2.6 Conclusiones parciales del Capítulo II.....	49
CAPÍTULO III: Análisis de los Resultados.....	50
3.1 Resultados de los ensayos realizados al material de los anillos cónicos del subconjunto sincrónico y del material ensayado en la EMI para el relleno.....	50
3.1.1 Resultados de los ensayos de composición química del material de los anillos del sincrónico.....	50
3.1.2 Resultados de los ensayos de dureza del material de los anillos del sincrónico.....	51
3.1.3 Resultados de los ensayos metalográficos del material de los anillos del sincrónico.....	51

3.2	Resultados de los ensayos del material de relleno ensayado en la EMI.....	52
3.2.1	Resultados de los ensayos de composición química	52
3.2.2	Resultados de los ensayos de dureza.....	53
3.2.3	Resultados de los ensayos de metalográficos.....	54
3.3	Resultados de la obtención de un nuevo material por fusión y vertido destinado al relleno de los anillos de los sincrónicos.....	55
3.4	Resultados de los ensayos realizados a las aleaciones fundidas.....	55
3.4.1	Resultados de los análisis de composición química a las aleaciones fundidas	55
3.4.2	Resultados de los análisis de dureza a las aleaciones fundidas.....	57
3.4.3	Resultados de los análisis de metalografía a las aleaciones fundidas.....	58
3.4.4	Resultados de los ensayos de resistencia al desgaste realizados a las aleaciones fundidas.....	60
3.5	Tecnología para el relleno de los anillos desgastados de los sincrónicos.....	62
3.6	Valoración económica.....	64
3.7	Conclusiones parciales del Capítulo III.....	71
	CONCLUSIONES GENERALES.....	72
	RECOMENDACIONES.....	74
	REFERENCIAS.....	75

INTRODUCCIÓN

La recuperación de piezas es una actividad vital en los procesos productivos y de servicio a tenor de los riesgos que hay que franquear, debido a las ventajas que pueden ofrecer y los problemas que se pueden resolver, al lograr cierta independencia económica y de mercado si se utilizan tecnologías adecuadas con recursos existentes, sobre todo en Cuba donde las limitaciones económicas muchas veces no permite acceder a proveedores para la compra de piezas y partes averiadas como repuesto. Muchas veces son elementos constructivos previstos por el fabricante para un período más o menos prolongado de servicio, o para ser sustituidos por averías imprevistas. En cualquier caso, la adquisición está expuesta a las limitaciones por el bloqueo económico y financiero a que el país está sometido por Estados Unidos, y a los conflictos que tienen que enfrentar los proveedores al comercializar con Cuba por las presiones, amenazas y medidas represivas que los limita muchas veces en el cumplimiento de las negociaciones que pudieron materializarse. Todo esto ha provocado un aumento por más de 800 millones de dólares [1] por este concepto solo en la importación de alimentos en el 2010, como consecuencia de la crisis globalizada que impera en el mundo y que ha invadido la economía real en la producción de bienes y servicio.

Es una práctica común y corriente en todos los países incluyendo las más desarrollados la reparación y mantenimiento de las instalaciones y equipos. Para ello se han desarrollado diversos procedimientos y métodos, siendo la recuperación de partes y piezas uno de los más importantes en este contexto, cobrando cada vez más importancia la **soldadura de mantenimiento** [2] que desde su concepción en 1970 hasta la actualidad ha posibilitado disminuir los gastos de almacén y mejorar la velocidad de respuesta a las averías mediante procesos de soldaduras seleccionados.

Los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución [3] aprobados el 18 de abril de 2011 contienen 16 acuerdos distribuidos en 4 de sus 12 capítulos, que definen y establecen la política a seguir en la sustitución de importaciones, mantenimiento tecnológico y constructivo, identificar y utilizar las capacidades de producción nacional, desarrollo industrial y fabricación de piezas de repuesto, entre otros; todos vinculados de cierta manera a la recuperación de piezas.

Esto evidencia que el país está seriamente enfrascado en la **actualización del modelo económico** y para ello hay que ir al rescate de los desechos reciclables, ya que muchos son

potencialmente peligrosos al medio ambiente [4] y utilizables como materia prima, por eso la recuperación de partes y piezas de los equipos posibilita reutilizar gran parte del material base y reciclarlo. Por eso es una tarea priorizada, en la búsqueda adecuada velocidad de respuesta, factible y competitiva. Una elección que ofrece ventajas frecuentemente es la recuperación por métodos de soldadura con posibilidad de alcanzar propiedades mecánicas u otras, similares e inclusive mejoradas con respecto a la pieza original en dependencia de la tecnología a utilizar.

Resulta conveniente determinar previamente si el origen de la falla se debe a que el daño potencial o próximo a suceder que la pone fuera de servicio, ocurre porque ha transcurrido el tiempo de vida útil o no, sea por causas imputables a deficiencias en el mantenimiento, montaje incorrecto, condiciones de explotación no adecuadas, diseño y/o construcción deficiente. Para ello es imprescindible el rigor profesional en la observación y análisis, lo que le servirá no solo para recuperar la pieza sino para eliminar la causa que la origina.

El origen de este trabajo radica en la Empresa Militar Industrial (EMI) “Coronel Francisco Aguiar Rodríguez”, de Sancti Spíritus, que ejecuta la reparación y reconstrucción de la línea de camiones ZIL 130 y 131 correspondiente a la técnica militar de transporte, proceso mediante el cual se le restablece al vehículo la capacidad de trabajo para un nuevo ciclo de explotación.

Una de los elementos, que durante el proceso de reparación y reconstrucción, presentan defectos en la actualidad por los años de servicio y demandan su sustitución de manera importante y creciente, es el conjunto del sincrónico de las cajas de cambio de velocidades de estos camiones. El suministro de este conjunto no se garantiza de forma estable por el proveedor (Rusia) y además su precio de comercialización por la empresas acreditadas para esa función en el país como DIVEP [5], es de 51.13 CUC + 15.64 CUP, para el conjunto sincrónico de segunda y tercera velocidad. Para el de 4ta y 5ta velocidad no hay registro de su entrada y comercialización en esa empresa y se desconoce el precio.

Este conjunto está constituido por varias piezas ensambladas de forma permanente y concebida para su sustitución como conjunto. Sin embargo el elemento crítico que falla por desgaste son los anillos laterales fabricados de una aleación de latón, que tiene la función de acoplar y friccionar sobre la superficie cónica del engrane seleccionado para frenar y sincronizar la velocidad de giro de este durante su acoplamiento (engranado) con el otro elemento constructivo. De esta forma se evita que durante la entrada y salida de una u otra rueda dentada se produzca fricción e impactos entre los dientes provocando averías prematuras, ruidos y dificultades en realizar el cambio de velocidades de marcha.

El desgaste del anillo por encima de los valores permisibles se convierte en una de las causas de la falla de los elementos más costosos y de mayor vida útil, los piñones y disco central del conjunto sincrónico. La recuperación de los anillos de fricción desgastados, a partir del desarme del conjunto (ensamblado y comercializado como un solo elemento) y su posterior reensamble, permitiría aprovechar la vida remanente del anillo, aprovechar las capacidades de trabajo y vida útil significativa aun existente en los piñones y discos del sincrónico y reducir las causas de fallas innecesarias en estos elementos constructivos.

En la Empresa Militar Industrial (EMI) “Coronel Francisco Aguiar Rodríguez”, de Sancti Espíritus, se han realizado intentos puntuales y no reproducidos, para la recuperación de los anillos, sin resultados evaluados de su efectividad. La empresa por años ha destinado a chatarra estos conjuntos sincrónicos y en la actualidad cuenta con gran cantidad de ellos clasificados en el defectado como piezas inútiles para ese mismo destino.

Aquí hay un **problema singular** que amerita dar solución partiendo del conocimiento existente del origen, detección y propagación de fallas en la zona dañada de los anillos del conjunto sincrónico antes descrito y de la experiencia acumulada en los procesos de soldadura por relleno de los elementos de máquinas, que consiste en la necesidad de establecer una tecnología de recuperación de estos anillos partiendo de recursos existentes en la empresa.

Problema Científico: Obtener un nuevo material de aporte a partir de anillos de latón de sincrónicos desechados de las cajas de cambios del camión ZIL 130 y 131, que aplicado como relleno en los anillos desgastados, garantice similar comportamiento y durabilidad que los originales.

Hipótesis: A partir de la fusión y vertido en molde metálico de anillos de latón desechados de los sincrónicos de la caja de cambios del camión ZIL 130-131, es posible obtener una nueva aleación de latón como material de aporte, con comportamiento y propiedades de resistencia al desgaste similares o superiores a las de los anillos originales.

Novedad: La obtención de varillas de latón, obtenidas por fusión y vertido en molde, a partir de anillos de sincrónicos desechados, constituye un nuevo material de aporte para rellenos resistente al mecanismo de desgaste de los anillos sincrónicos y piezas similares, depositado mediante soldadura oxiacetilénica.

Objetivo general:

Obtener, mediante procesos de fusión y vertido en molde metálico, un material de aporte para proceso OAW, destinado al relleno de los anillos de latón desgastados de sincrónicos de las cajas de cambios del camión ZIL 130 – 131, utilizando como materia prima para la fusión, anillos de latón desechados de los mismos sincrónicos.

Objetivos específicos:

1. Definir las características generales, condiciones de explotación y mecanismos de desgaste presente en los anillos de fricción de los conjuntos sincrónicos.
2. Caracterizar el material de los anillos de los sincronizadores de la caja de cambio, en cuanto a composición química, microestructura, dureza y microdureza si es necesario, que definen sus capacidades de resistencia al desgaste en condiciones de explotación
3. Determinar las propiedades del material de aporte ensayado como relleno para los anillos de los sincronizadores desgastados, en la EMI Cor. Francisco Aguiar Rodríguez definiendo la conveniencia o no de su utilización.
4. Definir la Norma a utilizar para los ensayos de desgaste en correspondencia con los mecanismos de desgaste presente en los anillos de los sincrónicos, su aplicación y ensayos de desgaste a realizar.
5. Diseñar y construir los dispositivos y probetas de los ensayos de desgaste en correspondencia con los requisitos establecidos por la Norma seleccionada.
6. Obtener por métodos de fusión en horno eléctrico y con llama oxiacetilénica, aleaciones de latón como material de aporte para el relleno de los anillos de sincrónicos desgastados, utilizando como materia prima los anillos de latón de sincrónicos desechados.
7. Realizar la caracterización de las aleaciones obtenidas como material de aporte en cuanto a (composición química, microestructura y dureza), particularmente la resistencia al desgaste, determinando el coeficiente de desgaste relativo con respecto a la aleación original
8. Elaborar la Tecnología de relleno de los anillos desgastados con el material de aporte obtenido.

Para el cumplimiento de estos objetivos se definieron las siguientes **tareas:**

1. Revisión bibliográfica y fundamentación de las características esenciales de las aleaciones de cobre zinc, de los sincrónicos y de los procesos de recuperación de piezas por soldadura.
2. Revisión y selección de la norma a aplicar en los ensayos de desgaste.

3. Diseño y fabricación de moldes para probetas y de fundición de las probetas para los ensayos de caracterización a realizar.
4. Realización de la caracterización de las aleaciones de latón obtenidas.
5. Diseño y construcción de dispositivos para los ensayos de desgaste.
6. Preparación y realización de los ensayos.
7. Diseño y construcción de molde metálico y crisol para obtener el material de aporte a utilizar en el proceso de relleno de los anillos.

Como resultados de este trabajo de Maestría se han desarrollado dos Proyectos de Ingeniería Mecánica II, dos Proyectos de Ingeniería Mecánica III, dos Trabajos de Diploma, tres trabajos estudiantiles premiados de Relevante en el Forum y Jornada Científica de la Defensa, y un trabajo presentado en el Forum de Ciencia y Técnica.

CAPÍTULO I

Fundamentación Teórica

1.1 Características de las cajas de cambio de los camiones ZIL 130 Y 131

Las cajas de cambio de velocidades son sistemas de transmisión de engranes cerrados en una carcasa y lubricados convenientemente. El uso de ruedas dentadas para transmisión de movimiento data de más de 400 años cuando los egipcios crearon un mecanismo que tenía un par de engranes para la conversión del movimiento traccionado por camellos para el bombeo de agua de los pozos en el desierto [6]. Hoy es prácticamente indispensable su presencia en la inmensa mayoría de las instalaciones industriales, máquinas y equipos de la producción y los servicios y en particular en las máquinas automotrices en sus cajas de cambios de velocidad y otras partes de la transmisión.

La variedad constructiva de las transmisiones y en particular las cajas de cambios de velocidad depende de las características de los equipos y funciones. Su evolución histórica ha estado sujeta a las exigencias prácticas, originando métodos científicos especiales tomados de los avances en las diferentes ramas de la ciencia y la técnica en cada período. En el diseño de transmisiones por engranaje en la industria de automóviles por ejemplo se distinguen tres etapas [6], en la primera la demanda se caracterizaba por engranes robustos, con prioridades como el volumen, proporción, resistencia al desgaste y eficiencia, luego hay una segunda etapa donde se introduce el nivel de ruido como elemento primordial unido a su robustez (incluye calidad y optimización) pasando las prioridades de la primera etapa para un segundo nivel de exigencia. En la tercera etapa los diseñadores priorizan las condiciones para facilitar la fabricación, como economía y productividad, pasando al primer nivel de exigencia y las otras demandas al segundo y tercer nivel respectivamente.

Los equipos de transporte requieren que el motor de combustión interna alternativo[7], tenga el giro suficiente (de un 30% a un 40% de las revoluciones máximas) para iniciar y mantener el movimiento del vehículo. Para ello reduce las revoluciones del motor alcanzando el par adecuado. Esto se logra mediante las diferentes relaciones de desmultiplicación obtenidas en la caja de cambios de velocidades, más la del grupo de salida en el diferencial. Las diferentes relaciones de transmisión de los engranes, transforma una misma velocidad de giro del cigüeñal en distintas velocidades de giro en las ruedas.

En función de esto, si la velocidad de giro (velocidad angular) transmitida a las ruedas es

menor, el par motor aumenta, partiendo de que el motor entrega una potencia constante. La caja de cambios tiene la misión de reducir el número de revoluciones del motor, según el par necesario en cada instante, además de invertir el sentido de giro en las ruedas cuando las necesidades de la marcha así lo requieren. Va acoplada al volante del motor, del que recibe movimiento a través del embrague, en transmisiones manuales; o a través del convertidor de par, en transmisiones automáticas. Acoplado a ella va el resto del sistema de transmisión. Dentro del sistema de cambios en el acoplamiento de los pares de piñones dentro de la caja, intervienen otros elementos constructivos, como los conjuntos sincronizadores, que garantizan que dichos acoplamientos se realicen de forma suave y sin daños en los dientes de los piñones.

(Ver Anexo 1 para conocer más detalles sobre la constitución y funcionamiento de las cajas de cambio de velocidades).

La caja de cambio de los camiones ZIL 130 Y 131 se muestra en sección en la figura 1.1, posee en lo fundamental un diseño que data de más de 60 años [8], por lo que no se corresponde con las nuevas tecnologías de optimización en el diseño. Aunque han sufrido varias modificaciones constructivas a lo largo de los años, aun estas mantienen un diseño y construcción robusto y relativamente simple con alta durabilidad y altos índices de fiabilidad en explotación, superiores a otras actuales y de similar destinación.

Se clasifican como mecánicas, de tres pasos y tienen cinco velocidades para movimiento adelante y una marcha atrás. La quinta velocidad es directa. Está dotada de dos sincronizadores “tipo inercia” para embragar las velocidades, uno para segunda y tercera y otro para cuarta y quinta, que han sufrido con el tiempo transformaciones parciales en el conjunto, principalmente en los anillos, con el propósito de hacer más “suave” el acoplamiento, lo que ha favorecido su vida útil.

1.2 Características de los sincrónicos en las cajas de cambio de los camiones ZIL 130 y 131

Los conjuntos sincronizadores tienen particular importancia en las cajas de cambio de velocidades [8], “son anillos compuestos de aleación a base de cobre, con superficie interior en forma helicoidal donde se aloja el extremo del engrane seleccionado para cada marcha, reduciendo sus RPM de giro hasta las revoluciones del sincrónico”.

En las cajas de cambios convencionales, el acoplamiento se obtiene con el desplazamiento de la corona del sincronizador, también llamado carrete, que lleva un dentado interno con el que engrana el “piñón loco” de la velocidad deseada. Los sincronizadores absolutos están formados

por un buje, que conecta constantemente en las estrías del eje secundario y tiene en su perímetro exterior dientes rectos, que engranan con los dientes interiores del carrete. A los piñones locos de las diferentes velocidades se les unen a través de un muelle, los anillos sincronizadores con superficie interior a veces seccionada y cónica como es el borde exterior del cuerpo de los piñones para permitir la entrada hasta el tope.

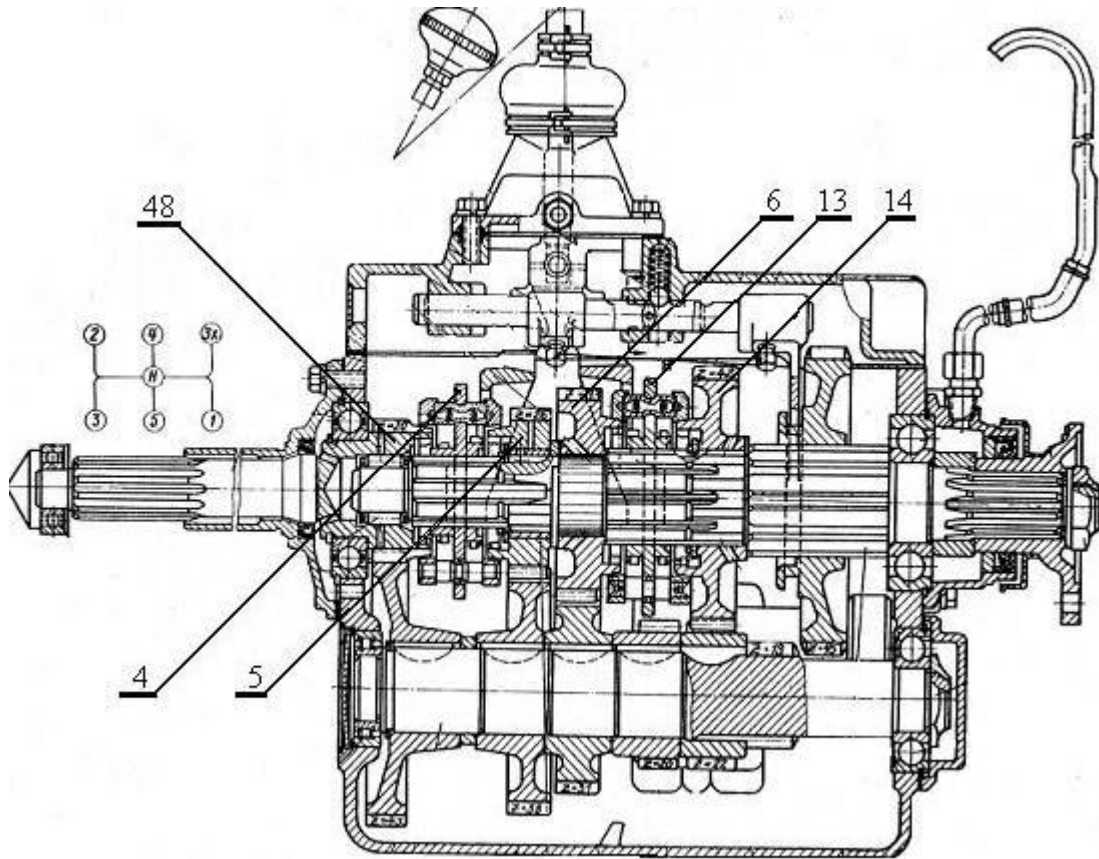


Figura 1.1 Partes y piezas que conforman la caja de cambios del ZIL 30 y 131[8]

**4, Sincronizador de 4ta y 5ta velocidad; 5 y 48, Piñones de 4ta y 5ta velocidad;
13, Sincronizador de 2da y 3ra velocidad; 14 y 6, Piñones de 2da y 3ra velocidad.**

Cuando el conductor acciona la palanca de cambio y selecciona una velocidad, el carrete correspondiente es empujado hacia el engranaje loco. Al acercarse el carrete, el anillo cónico va entrando en él, produciendo un rozamiento que iguala las velocidades entre el eje secundario y el engranaje loco. Al seguir avanzando el carrete, sus dientes engranan con los del piñón, haciéndose solidario el giro de éste con el del eje secundario, entrando la velocidad. Antiguamente se usaba otro tipo de sincronizador en los que el anillo cónico iba mecanizado en mismo carrete.

Los sincronizadores para el embrague silencioso de los acoplamientos dentados solo se pueden utilizar para acoplar árboles sin carga y con pequeñas masas de inercia en correspondencia

con las dimensiones de las fuerzas de fricción requeridas para igualar las revoluciones de los elementos que se conectan entre sí [9].

Los sincrónicos de los camiones ZIL 130 Y 131 sufrieron cambios en 1973. Precisamente fueron modificados los anillos de latón, que se muestran en la Figura 1.2 como son actualmente, rígidamente enlazados ente sí con auxilio de tres bulones “1”, cuyos extremos están rebordeados.

Estos bulones, en la parte media, tienen la superficie cónica que sirve de bloqueo. Los agujeros en el disco del carro “2”, a través de los cuales pasan los bulones de bloqueo, también poseen una superficie de bloqueo en forma de chaflán, por ambos lados del agujero. Los anillos cónicos “3” no tienen enlace rígido con el carro “2” y se puede desplazar con respecto al último; ellos están enlazados con el carro a través de tres bulones de fijación “7” en el interior de los cuales se alojan los muelles “6” y dos bolas “5”, en cada uno. En los anillos “3”, van encajados a presión los apoyos “4” para las bolas del fijador.

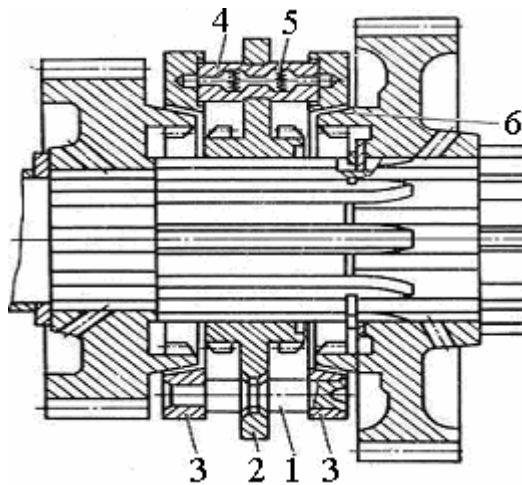


Figura 1.2 Montaje del sincrónico en el eje [8]

1- bulones, 2- carro, 3- anillos cónicos, 4- apoyos, 5- muelle, 6- superficies de fricción cónicas.

El conjunto de los sincronizadores de la caja de cambios del camión ZIL 130 Y 131, después de un período de explotación relativamente largo presenta defectos como el desgaste en la superficie cónica del anillo de latón (Figura 1.3) que fricciona con el engrane..

Por recomendaciones del fabricante no debe existir juego superior a 0,1 mm en los planos frontal y radial en los conjuntos sincrónicos nuevos.

Cuando se reparan las cajas de velocidades de los camiones ZIL 130 Y 131, por lo general éstas presentan dificultades en los cambios de velocidades de marcha, comprobándose que hay un nivel de desgaste en los anillos de latón que determina su rechazo.

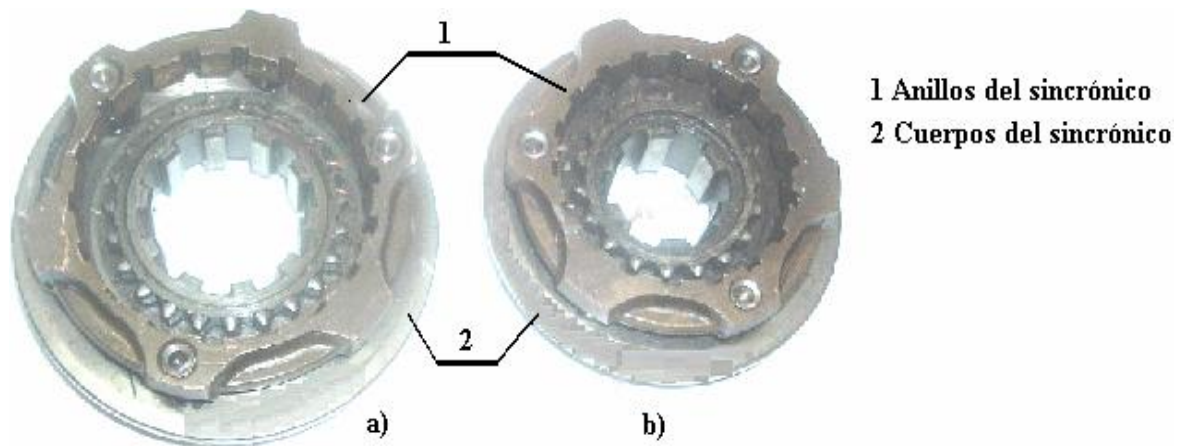


Figura 1.3 Conjuntos sincrónicos de la caja de cambios del camión ZIL 130 Y 131

a) Sincrónico de 2da y 3ra velocidad; b) Sincrónico de 4ta y 5ta velocidad.

Foto tomada de piezas defectuosas

Aunque no se ha establecido el límite de desgaste admisible por el fabricante ni por el taller de la EMI, se ha comprobado en las mediciones realizadas en los anillos que han sido rechazados, que tienen un desgaste menor de 1mm en la altura del diente desde la zona de mayor diámetro hasta cerca del diámetro medio del cono. Esto no es uniforme en toda la superficie cónica del anillo debido a la tolerancia propia de las dimensiones nominales de las piezas y del montaje, que provocan sobrecargas de impacto en un sector, desajustes y fallas diversas, disminuyendo gradualmente el área de contacto del par tribológico que forma con el piñón seleccionado y por tanto el efecto de frenaje que equipara las velocidades y dificulta el acople del conjunto sincrónico que transmite movimiento al engrane con los dientes de acero, apareciendo ruido y defectos en la entrada de los dientes de acero. También aparece desgaste en los dientes laterales que poseen los engranes para contactar con el sincrónico.

En la figura 1.4 se observan dientes con desgaste en piñón de 3ra velocidad.

Según documentación técnica del equipo [8], los sincronizadores del camión ZIL 130 y 131 tienen el cuerpo de acero 25 XIT, con profundidad de cementación de 0,5 - 0,7 mm y dureza superficial de 60 – 65 HRC de la capa superficial y de 35 – 45 HRC del núcleo después del temple y revenido. Los anillos cónicos de los sincronizadores de la segunda y tercera, y de la cuarta y quinta velocidad, se fabrican por estampado de tubo, con dureza, según requisito, no menor de 130 HB. El estampado otorga mejoramiento de las propiedades del material, con el compactado de la estructura y la relativa disminución del tamaño de grano [10]. De acuerdo a la información en la EMI y en la documentación técnica no actualizada, están constituidos por una aleación de latón compleja ЖМЦКА 58-2-1-1(GOST 17711-72). No se conoce si en las

modificaciones de mejora se han realizado cambios de la composición del material. **Para una adecuada valoración y caracterización se hace necesario realizar la caracterización por análisis de laboratorio.**

La superficie cónica que contacta con el engrane posee pequeñas ranuras helicoidales para ayudar a la lubricación durante el acoplamiento. Los parámetros principales de los sincronizadores y piñones se especifican en el Anexo 2.



Figura 1.4 Piñón de tercera velocidad

Foto tomada de un piñón defectuoso

1.3 Características del par tribológico piñón-sincrónico en las cajas de cambio de los camiones ZIL 130 y 131

1.3.1 Condiciones de trabajo

En condiciones normales de trabajo, el par tribológico que forma cada anillo del sincrónico con el piñón que acopla a la velocidad de marcha seleccionada de los camiones ZIL 130 y 131, trabajan en un sistema cerrado casi herméticamente, bastante aislado de la contaminación externa, bajo un sistema de lubricación que beneficia su funcionamiento, disminuyendo la posibilidad de fallas entre los elementos de máquina del sistema de engranaje.

No obstante, el servicio prolongado indefectiblemente va provocando diferentes contratiempos en el funcionamiento producto de los defectos que se van incrementando con el tiempo. Uno de ellos es el desgaste, que ocurre inexorablemente y es a la vez causa de otros defectos que pueden ocasionar incluso serias averías si no son tratados a tiempo.

Como las circunstancias expresadas, prácticamente no existen en la vida real, hay muchas

causas probables de que ese ambiente sea transgredido por razones imputables o no al hombre. Entre ellas se puede citar, inadecuada explotación, falta de hermeticidad, contaminación de lubricantes [11] y servicios técnicos deficientes, los que aceleran los procesos de deterioro del mecanismo.

La existencia de cada una de las causas mencionadas contribuye a la rapidez del proceso de desgaste, por lo que merecen especial atención. La contaminación del lubricante, tiene una estrecha vinculación con los propósitos de este trabajo por lo que resulta conveniente conocer que puede ser ocasionado por penetración de suciedades que interfieren la formación de la película de aceite entre las superficies en contacto, como pueden ser partículas duras, finas, agua que provoca a su vez oxidación y degradación del aceite, sustancias químicas, utilización de aceites incorrectos o mezclas no recomendados de aceites.

1.3.2 Mecanismos de desgaste del par tribológico anillo-piñón

Existen diferentes conceptos del término desgaste donde el significado depende de la obra consultada [12-15]. No obstante en todas las definiciones hay aspectos comunes como: Daño ocasionado por el exceso de uso bajo condiciones de fricción, disminución de las dimensiones de una pieza, cambio de las superficies producto del desprendimiento o pérdida del material por causa de una causa mecánica, erosión de material sufrida por una superficie sólida por acción de otra superficie, resultado de un proceso producido por el rozamiento. Especial lectura merece la de Koji Kato y Koshi Hadáis [16], al expresar que el desgaste es el resultado de la eliminación de material por separación física debido a microfacturas, disolución química o por la fusión debido al contacto entre superficies. **Que no es una propiedad del material, sino una respuesta al sistema.** Cambia drásticamente con un relativamente pequeño cambio en el sistema tribológico que está compuesto por parámetros dinámicos, medioambientales y del material.

Hay más definiciones, pero en esencia todas tienen en común el principio que la origina y sus consecuencias. Por lo que es posible asumir ocho reglas acerca del **desgaste**: ocurre en una superficie por el rozamiento con otro cuerpo debido a un **proceso multifactorial**, que **siempre ocurre** y puede **ser controlado** en cierta medida, pero **nunca evitado** totalmente. Es posible hacer **predicciones** de su desarrollo para evitar daños mayores antes de que surjan averías indeseables. Es una magnitud física y existe la posibilidad de **restituir** las características de la superficie dañada si se hace un análisis de las causas, alcanzando niveles de **resistencia similares** e inclusive

mayores que el original. No obstante esta decisión puede ocasionar trastornos que alteren y deterioren las condiciones iniciales porque al aumentar la resistencia al desgaste de una superficie, se cambian las variables y se rompe la “armonía” existente, lo que pudiera perjudicar las circunstancias de trabajo del mecanismo. Hay que **establecer por tanto los compromisos** del equilibrio que se quieren obtener en el desgaste entre las dos superficies en contacto en el diseño original y en la tecnología de recuperación.

El desgaste puede ser clasificado atendiendo el principio que lo rige [13, 16]:

1.- Según la velocidad a que se manifiesta el mecanismo de desgaste, hay tres etapas [13], figura 1.5, todas con importancia práctica y conducta diferenciada a seguir en cada una durante la explotación. El primer período, asentamiento (I), la velocidad de cambio puede ser alta, por eso se aplican cargas menores para facilitar que se eliminen las asperezas de las superficies en contacto para el ajuste adecuado del par tribológico; en el segundo período, desgaste normal (II), la velocidad de desgaste se mantiene relativamente constante y corresponde a la vida útil de los componentes, siendo mayor este periodo, mientras mejor se cumplan las condiciones de trabajo preestablecidas por diseño, principalmente la explotación y servicios técnicos; el tercer período, identificado como desgaste catastrófico (III), significa un alto grado de envejecimiento y deriva en un rápido fallo, siendo posible conocer su inicio porque en el mecanismo comienza a mostrarse signos de deterioro como ruido, calentamiento, vibraciones y otras señales perceptibles con la observación o instrumentos de medición.

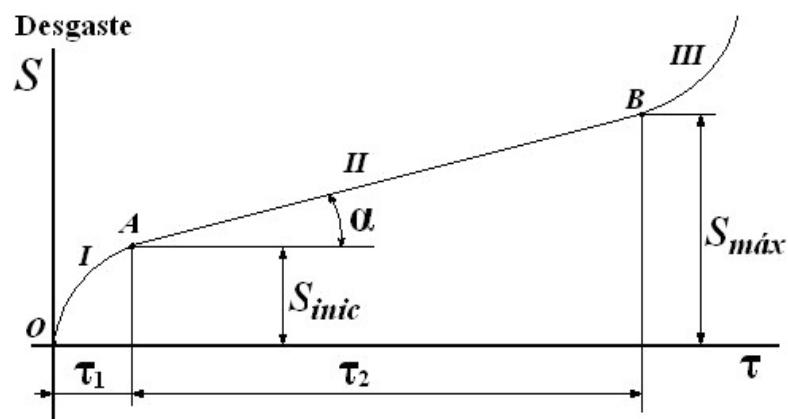


Figura 1.5 Curva típica del comportamiento del desgaste en condiciones de servicio prolongado [12, 13]

I. -Período de asentamiento; II. - Periodo de desgaste (normal); III. - Periodo de desgaste catastrófico.

El comienzo de esta fase puede ser pronosticado por medio de diagnósticos efectivos como la inspección predictiva, basada en riesgo [17], ensayos no destructivos, análisis de partículas en aceites [18, 19], control de la calidad de la soldadura [20] u otras.

2.- Según el tipo de movimiento relativo: Pueden ser por deslizamiento, rodadura, choque y flujo.

3.- De acuerdo al mecanismo bajo el cual se desarrolla el desgaste: Se considera que uno de los esquemas de clasificación más completa, es la propuesta por Siebel- Burwell, donde además de las formas de clasificación según el movimiento relativo de los cuerpos que interactúan y el mecanismo del desarrollo del desgaste, se adiciona la naturaleza de los cuerpos que interactúan. En la Tabla 1.1 se muestra el esquema simplificado de esta clasificación.

Este método de clasificación comprende diferentes formas de manifestarse el desgaste, que son: adhesivo, abrasivo, corrosivo (corrosivo-mecánico) y por fatiga superficial.

Tabla 1.1 Esquema de clasificación del desgaste [21]

Naturaleza de los cuerpos rozantes	Movimiento relativo	Desgaste por	Mecanismo de desgaste fundamental			
			Fatiga	Abrasión	Adhesión	Corrosión *
Metal-Metal	Deslizamiento	Deslizamiento	X	X	X	X
	Rodadura	Rodadura	X	X	X	X
	Choque	Impacto	X	X	X	X
	Vibración	Frotamiento	X	X	X	X

*se refiere a corrosión con acción mecánica.

Existen otras clasificaciones como la de Piterson M.B [22], que se basa en la naturaleza de las partículas que se desprenden de la superficie de los cuerpos durante la fricción en condiciones básicamente sin lubricación.

- Desgaste adhesivo [14]: Adhesión o desgaste adhesivo se denomina en muchas ocasiones como desgaste severo y constituye el punto de partida para desarrollar el proceso de desgaste entre la superficie de los metales al producirse un rozamiento entre ellos.

En el mecanismo clásico de desgaste adhesivo el papel principal lo juega la interacción atómica al estar en contacto bajo presión las asperezas de ambas superficies (ver Figura 1.6). Hay una atracción molecular (cohesión) cuando la distancia entre los átomos de las superficies de los dos cuerpos sea menor que 4×10^{-8} cm., surgiendo fuerzas de interacción mutua entre ellos que son de corta acción. Esto produce una unión adhesiva (microsoldadura) entre las superficies en contacto como resultado de la destrucción superficial de uno o ambos materiales. Durante el

contacto las asperezas se arrugan y se produce el efecto mecánico de engrane, siendo la primera causa de la adhesión.

El estudio del desgaste adhesivo [23] ha demostrado la importancia de la interrelación de los materiales de la unión tribológica, recomendando que debe evitarse la compatibilidad metalúrgica. En este caso se cumple con el bronce y el acero, considerando que el latón es una aleación base cobre, no ferrosa y de baja dureza con respecto al acero.

Esto origina el deterioro en forma de adherencia o desgarramiento en las superficies, observándose en muchos casos porciones relativamente grandes de material trasladadas al cuerpo opuesto y firmemente adheridas a su superficie por soldadura en frío.

La generación de calor producto de la fricción y de las deformaciones plásticas produce un incremento rápido de la temperatura en los puntos de contacto causando la difusión en la interfase, que es causa secundaria de la adhesión.

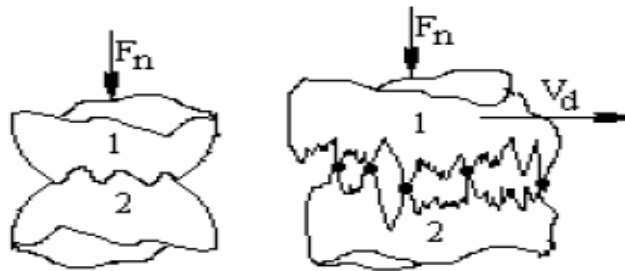


Figura 1.6 Proceso de deformación plástica de las asperezas (arrugado y engrane) [23]

El movimiento relativo produce el cizallamiento de la unión. En dependencia de la resistencia al cizallamiento de la unión adhesiva y de las características de los materiales en contacto, la rotura de la unión se puede producir de cuatro formas diferentes [22]:

1.- Fricción por cizallamiento (Ver Figura 1.7 a)- Cuando la unión adhesiva es menos resistente que los materiales base, el cizallamiento ocurre en la interfase. Aunque la fricción sea alta la cantidad de material transferido es pequeña.

2.- Fricción por soldadura (Ver Figura 1.7 b)- Cuando la unión adhesiva es más resistente que uno de los materiales base, la ruptura de la unión adhesiva ocurre en el material de menos resistencia. Se produce transferencia del material del cuerpo blando al cuerpo duro y la unión adhesiva. La ruptura es por uno de los materiales base, que es precisamente **el caso predominante en el par anillo-piñón**.

3.- La unión adhesiva es más resistente que ambos materiales base (Ver Figura 1.7 c)- La

ruptura de la unión ocurre fundamentalmente por la masa del material menos resistente, aunque puede ocurrir desprendimiento de partículas de la masa del material más resistente. El intenso desgaste del material más blando puede estar acompañado del desgaste del material más resistente.

4.- La resistencia de la unión es igual a la de los dos materiales base. La unión está sometida a una adherencia que incrementa la resistencia al cizallamiento, por eso la ruptura ocurre en estos casos muy pocas veces por la unión. Generalmente tiene lugar a determinada profundidad de la masa de los metales base, donde probablemente exista algún defecto interno.

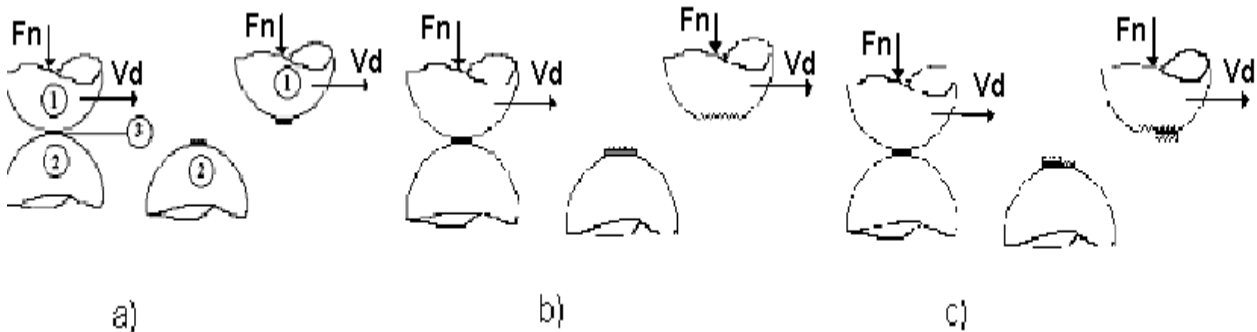


Figura 1.7 Ruptura de la unión en dependencia de la resistencia al cizallamiento [23]

a), Fricción por cizallamiento; b), Fricción por soldadura; c), La unión adhesiva es más resistente que ambos materiales base

El desgaste adhesivo al estar provocado por los parámetros de adhesión y de rotura de las capas en contacto es característico sólo en pares de deslizamiento metal-metal [14].

La mayoría de los metales importantes y sus aleaciones cristalizan en sistemas cúbicos o hexagonales [24]. Los metales con estructura hexagonal, generalmente tienen menos tendencia al desgaste adhesivo que los de estructura cúbica [14]. Esto está relacionado con la forma diferente de deformación plástica de las irregularidades y la cantidad de sistemas aptos para el deslizamiento (planos de deslizamiento) en los sistemas cristalinos. La orientación de los cristales determina la intensidad del desgaste adhesivo.

-Desgaste abrasivo [14]: El mecanismo de desgaste abrasivo está determinado por la presencia de partículas abrasivas en la zona de fricción y la destrucción de la superficie ocurre como resultado de la deformación plástica local, micro ralladuras, y micro cortes cuando en el medio en que se encuentra la superficie existen elementos o partículas de elevada dureza. El desgaste o mecanismo destructivo abrasivo es aquel que sufre una superficie de un elemento de máquina como resultado de la acción cortante de un agente externo.

La separación de partículas de las superficies en contacto se origina debido a que las irregularidades del material más duro se introducen en el más blando mediante el deslizamiento plástico. 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. La profundidad de la capa desgastada depende de la presión de contacto y el recorrido de fricción.

No hay consenso de un criterio integrador de los diferentes grupos de factores que influyen en el desgaste abrasivo. Actualmente se han incluido además de criterios primarios como el límite de fluencia, estructura del material gastado y el módulo de elasticidad, que no fueron suficientes, el del coeficiente de fricción, resistencia a la fatiga y consideraciones acerca de la magnitud de las deformaciones.

La destrucción del metal producto del microcorte o debido a la deformación plástica está estrechamente relacionada con las condiciones de trabajo de la pieza y de la naturaleza de las partículas abrasivas. Se ha establecido experimentalmente que el mecanismo de desgaste abrasivo queda determinado fundamentalmente por la relación entre los valores de dureza del material (H_m) y la dureza de las partículas abrasivas (H_a). La ley general plantea que existe una dureza óptima para el material más blando.

Se establece que en dependencia de la relación de la dureza del abrasivo (H_a) y la del metal (H_m) pueden aparecer tres regímenes diferentes del mecanismo de desgaste abrasivo:

1.- Régimen de desgaste abrasivo de transición. $H_a \approx H_m$. Las durezas son aproximadamente iguales, el desgaste es mutuo y cobra importancia la presencia de otros mecanismos de desgaste que puedan surgir en las condiciones específicas.

2.- Régimen de desgaste débil. $H_a < H_m$. La dureza del abrasivo es menor que la del material, y no penetra en el material, disminuyendo considerablemente el desgaste abrasivo. Valores mucho mayores de dureza del material con respecto al abrasivo, independiza el desgaste de este factor.

3.- Desgaste abrasivo severo. $(H_a / H_m) > 2$. El abrasivo penetra con más facilidad en el material, produciendo cortes o surcos de mayor profundidad durante el movimiento tangencial.

En la Figura 1.8 a) la separación de partículas de las superficies en contacto se origina debido a que las irregularidades del material más duro se introducen en el más blando mediante el deslizamiento plástico. 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. En la

Figura 1.8 b) el abrasivo va desprendiendo partículas del material.

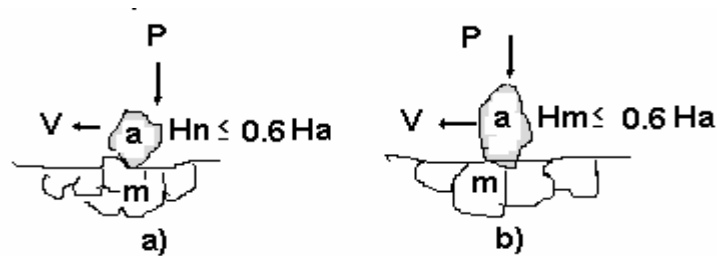


Figura 1.8 Representación del mecanismo de desgaste abrasivo [14]

Se obtienen buenas características en cuanto a la resistencia al desgaste abrasivo cuando $H_m \approx 1.3 H_a$, por ser el punto de equilibrio donde el material no permite la penetración y deformación plástica, ni el arranque de partículas. Es un valor aproximado por estar influenciado por otros factores señalados anteriormente.

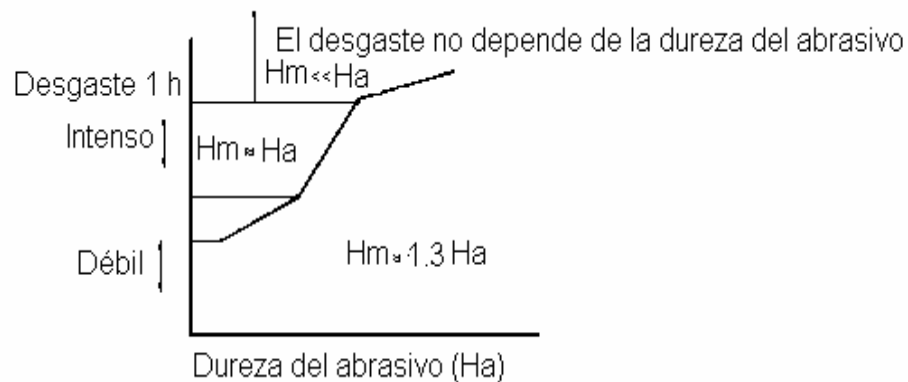


Figura 1.9 Variación de la intensidad del desgaste según la dureza del abrasivo [14]

La intensidad del desgaste abrasivo de un metal o aleación tiene diferente comportamiento en dependencia de la dureza del medio. En la Figura 1.9 se muestra la dependencia del desgaste abrasivo en función de la dureza de la aleación y de la dureza de la partícula abrasiva.

Otro factor influyente sobre la intensidad del desgaste abrasivo es el tamaño de los contaminantes indeseados. En la Figura 1.10 se observa esta relación, donde existe para un determinado tamaño de partícula una permanencia invariable del desgaste.

En condiciones normales no debe ocurrir el desgaste abrasivo porque la dureza de las superficies de acero es mucho mayor que las superficies de aleación Cu-Zn que contactan con la de los sincrónicos. Pero en realidad hay situaciones que provocan cambios desfavorables en el

sistema de la caja de cambios, ya mencionados en epígrafes anteriores. La presencia de contaminantes indeseados, surgidos en el interior o provenientes del exterior tienen incidencia en el desgaste abrasivo en dependencia de su tamaño. Las cajas de cambio objeto de estudio poseen un tapón imantado en el fondo de la carcasa que atrae las partículas ferrosas.

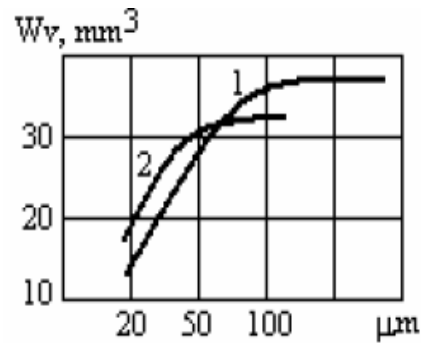


Figura 1.10 Influencia del tamaño de partícula sobre el desgaste abrasivo [22]

1, acero; 2, bronce.

No se profundiza en los otros dos mecanismos de desgaste que se exponen continuación por no ser de interés de este trabajo.

- Desgaste corrosivo (corrosivo-mecánico): Se produce como resultado de la interacción dinámica de las influencias de contacto y por las influencias de las condiciones del medio en que se produce. Normalmente se considera como un proceso donde ocurre la destrucción por la acción química o electroquímica del medio exterior.

- Desgaste por fatiga superficial: Ocurre por la acción de las tensiones o esfuerzos superficiales, sin existir necesariamente otras interacciones físicas entre las superficies de los cuerpos sólidos. Este proceso de desgaste está relacionado con los ciclos de tensiones repetitivas en el contacto por rodadura o por deslizamiento. En este caso el deterioro del material se produce por la existencia de tensiones variables, es decir la superficie de trabajo se encuentra sometida en el transcurso del período de trabajo tanto a tensiones de tracción como de compresión.

Es muy común la existencia de más de un tipo de mecanismo de desgaste debido a las circunstancias multifactoriales de cada sistema y par tribológico. La forma más completa de identificar el desgaste de una superficie es sobre la base de varios factores; como son la naturaleza de los cuerpos que interactúan, el movimiento relativo y el mecanismo en que se desarrolla el desgaste. Por tanto para seleccionar el sistema de aleación es necesario partir del mecanismo de desgaste predominante en la superficie, pues de esta manera se podrá seleccionar de forma acertada el material de aporte más conveniente a emplear.

El primer análisis del posible mecanismo de desgaste se puede realizar prácticamente basado en la experiencia y la observación visual [14], que da cierta información acerca del principio esencial que determina el desgaste. Observación de la superficie de manera directa con la ayuda de aumentos (lupa), donde por su aspecto se puede tener una idea a priori del mecanismo de desgaste predominante de la superficie, como se identifica en la Tabla 1.2, lo que puede ser corroborado o desmentido con procedimientos más rigurosos.

Tabla 1.2 Identificación del mecanismo de desgaste según el aspecto de la superficie

Mecanismo de desgaste	Aspecto de la superficie desgastada
Por fatiga	Grietas, caries
Abrasivo	Excoriación, arañazos, ralladuras
Adhesivo	Protuberancias, escamas, caries
Corrosivo mecánico	Producto de reacción (películas)

El **par tribológico piñón-sincrónico** formado por la superficie cónica del engrane de acero y del anillo de latón del conjunto sincrónico, entra en contacto durante el cambio de la velocidad de marcha elegida. Este contacto que se produce y origina la fuerza de fricción entre ambos elementos, está considerado fundamentalmente como “Mecanismo Adhesivo en forma de Fricción por soldadura”, que ocurre cuando la unión adhesiva es más resistente que uno de los materiales base, en este caso la aleación de Latón, por lo que la ruptura de la unión adhesiva ocurre en este material que es más blando y de menor resistencia que el acero del piñón. Se produce transferencia del material del cuerpo blando al cuerpo duro y la unión adhesiva por el desgaste por adherencia. Por efecto del desgaste abrasivo debido a la presencia de contaminantes no deseado, se producen ralladuras, surcos y desprendimientos de material en el anillo.

En el breve tiempo de contacto durante el cambio de la velocidad de marcha surgen altas a medianas presiones y ligeros impactos entre las superficies de deslizamiento del par tribológico anillo-engrane. Estas condiciones son realmente agravadas en mayor o menor medida por causas tales como: montaje incorrecto; fallas en rodamientos, ejes o cuerpo de la caja; lubricante incorrecto y de manera secundaria también este par tribológico está sometido al desgaste Abrasivo Ligero, dado por el efecto de contaminantes indeseables tales como: partículas provenientes del propio desgaste o externas que se mezclan con el lubricante debido a mala manipulación o servicios técnicos deficientes, contaminándose por estos motivos; deficiente almacenamiento; falta de hermeticidad.

El desgaste no controlado o que se desconoce su predicción en los mecanismos, cobra importancia fundamentalmente en los equipos de responsabilidad, de alto riesgo, complejos o de un alto valor en la producción y los servicios. Entre las causas más importantes se pueden citar [25]: movimiento errático de los mecanismos lubricados, altos valores de vibración e incremento en los niveles de ruido, elevadas temperaturas de operación, mayor consumo de repuestos por incremento del mantenimiento correctivo, reducción significativa de la producción por paros de maquinaria, posibilidad de accidente fatal ante el peligro de roturas en componentes de máquinas y otras. Cada una de estas causas es a la vez origen de otros defectos o del incremento de estas.

1.4 Criterios de recuperación de los sincrónicos

El desgaste de los anillos de latón es la principal causa de avería del conjunto sincrónico de los camiones ZIL 130 y 131, siendo por tanto la principal pieza a recuperar, posibilitando con ello poner a funcionar mayor cantidad de estos conjuntos.. Por eso el esfuerzo principal está dedicado a la recuperación de este anillo.

La recuperación que se ha realizado en la EMI ha carecido totalmente de tecnología, sistematicidad, del aval de ensayos y pruebas que den fe de fiabilidad y de seguimiento de los resultados en la explotación de los camiones reparados, por lo que se desconoce si ha dado resultado. Esto ha motivado que se hayan acumulado durante años conjuntos sin recuperar y en muchas ocasiones los anillos han sido desechados y vendidos como materia prima, por el preciado valor de materiales no ferrosos y la política económica en el rescate de todo lo servible y reciclable. Pero de esta forma se están descartando elementos de máquina con vida útil remanente si son recuperados adecuadamente, que es el objetivo que se persigue en este trabajo, en correspondencia con el modelo económico del país.

Por eso es imprescindible conocer en primera instancia las características de la zona recargada para determinar las propiedades que tiene la pieza en función del trabajo que realiza en el par tribológico y partiendo de criterios fundamentados, elaborar nuevas propuestas de recuperación utilizando recursos que nos independicen de compras importadas.

Entre los métodos de soldaduras convencionales y universales el arco eléctrico tiene ciertas desventajas en la soldadura del latón, principalmente por las elevadas temperaturas que se generan en el arco, siendo preferidas las soldaduras con oxigás.

En general en los procesos de soldadura de estas aleaciones hay que cumplir determinados requerimientos y tener las siguientes precauciones [26-28]:

- o El zinc funde a 420 °C y volatiliza a 906 °C, temperaturas muy bajas en comparación con la del arco eléctrico durante el proceso de soldadura, siendo probable que se tengan que considerar pérdidas de este componente en la aleación, así como poros y sopladuras porque el metal base solidifica a temperatura cercana a este valor y quedaría atrapado el gas de zinc.
- o La distribución de la temperatura durante el relleno muestra mayores valores en la soldadura eléctrica [27]. Con el avance del proceso de soldadura y descenso de la temperatura en el cordón depositado, comienza la cristalización isotérmica con la formación de dendritas que van creciendo en forma elíptica.
- o Aplicar la mayor velocidad de soldadura posible para no incrementar demasiado la temperatura en el metal base y por ende las dilataciones, esfuerzos y pérdida de elementos de aleación. Independientemente de que en la soldadura oxiacetilénica con operario calificado [29] y experimentado sea posible maniobrar con la antorcha para controlar la temperatura minimizando el sobrecalentamiento, es un aspecto que se puede investigar y evaluar para minimizarlo.
- o Los electrodos deben tener bajo hidrógeno porque el metal de aporte puede solidificar y el gas quedar atrapado.
- o Utilizar material de aporte que tenga composición química similar al metal base como está recomendado para evitar la micro segregación interdendrítica, que puede provocar cierta heterogeneidad en el material. Siendo precisamente éste, uno de los objetivos fundamentales de este trabajo.
- o Aplicar fundentes apropiados que eliminen los óxidos que se forman durante el proceso, ya que al tener menor temperatura de fusión y densidad, forman una capa externa que se puede limpiar con facilidad.
- o La elevada conductibilidad térmica del latón aconseja aumentar el tamaño de la boquilla de la antorcha, aunque sin sobrecalentar demasiado la zona del cordón para evitar la pérdida de zinc. También se aconseja en estos casos alejar un poco la boquilla del baño metálico para disminuir la posibilidad de que volatilice el zinc.
- o Otras recomendaciones prácticas son prudentes al soldar aleaciones de cobre con

oxiacetilénico, como el ángulo de la boquilla y la varilla con respecto a la superficie de la pieza que se está soldando (90° entre sí), y los ángulos que forman la varilla y la antorcha con respecto al plano (45°), lo que incide en el calor aportado.

- o Dirigir la llama más hacia la varilla que hacia la pieza y utilizar una llama oxidante que contenga de un 30 % a 40 % de oxígeno en la mezcla. Válido para latones ordinarios, pero en este caso (latón con elementos de aleación y relleno en un elemento de máquina) es preferible llama neutra para evitar la pérdida de elementos que benefician las propiedades mecánicas.
- o Es muy beneficioso para la eliminación de tensiones y mejoramiento de las propiedades mecánicas del cordón, martillar la soldadura en frío en aleaciones con más de 60 % de cobre y en caliente a 650°C para contenido de cobre menor de 60 %.

Por tanto la decisión de utilizar la soldadura oxiacetilénica está en concordancia con lo recomendado en estos casos por la literatura consultada [26-28]:

Durante el proceso de recuperación y posterior elaboración mecánica hay que evitar que haya cambios en el dimensionamiento, forma u otras características o propiedades de la pieza, puesto que ello conlleva a cambios en el diseño del elemento y/o mecanismo, complicando y encareciendo el proceso. En la Figura 1.11 se muestra la relación entre la posibilidad del cambio y la variación del costo que se produce durante el período de existencia comercial [6].

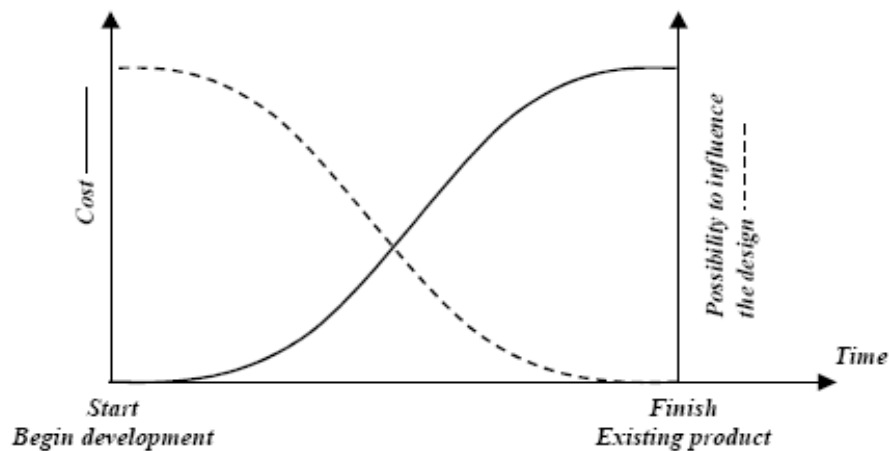


Figura 1.11 Relación entre la posibilidad del cambio y el costo del cambio

Fuente: Tomado de *Tooth Interior Fatigue Fracture & Robustness of Gears* Magnus MackAldener.

Con el material de aporte adecuado, el material base identificado y requerimientos especificados para estos procesos de soldadura, se intenta establecer criterios para llevar a cabo el

relleno, que serán avalados por los correspondientes ensayos vinculantes, siendo el ensayo de desgaste el más importante y definitorio por ser precisamente el defecto que inutiliza a los anillos.

1.5 Criterios de ensayos de desgaste

1.5.1 Métodos de ensayos de desgaste

En el mundo existen diversos Métodos y Normas para los ensayos tribológicos. Entre los más conocidos están [30] los de la ASTM, API, IP, INTA, DIN, MIL y otros.

A la par se han diseñado y construido máquinas, dispositivos, probetas, métodos de cálculo y estándares de procedimientos que se aplican en dependencia del par tribológico, condiciones de trabajo (temperatura, presencia o no de lubricantes, abrasivos, etc.). Entre las Normas de ensayos tribológicos de desgaste adhesivo, destaca la ASTM G77 [31] por su flexibilidad, aplicación práctica y relación directa con este trabajo. Existen diferentes instalaciones experimentales para los estudios tribológicos de desgaste con máquinas y métodos [30] concebidos para este fin..

La importancia del estudio del fenómeno del desgaste [22] estriba en que cerca del 80 al 90 % de las piezas que se sustituyen tienen como origen el desgaste, siendo la abrasión el 50 % de esta causa. Esto consume de un 0,5 al 1 % del Producto Neto Nacional de los países desarrollados.

El estudio de los fenómenos tribológicos de desgaste y la resistencia de los cuerpos a la fricción [22], no es posible hacerlo sin determinar sus valores absolutos cuantitativos y para ésto existen numerosos métodos, entre los que se puede citar: rugosímetro, base de medidas artificiales, huellas, punzonado, barrenado, muescas, contenido de productos del desgaste en los lubricantes usados, entre otros.

Cualquier análisis por simple que sea debe partir de la determinación del mecanismo de desgaste predominante [14]. Para ello es imprescindible conocer la microgeometría, estructura y propiedades de las capas superficiales (tensiones residuales, composición química, acritud) del par. Análisis de rigor requieren hacer diversos ensayos que se complementen entre sí y den respuesta al comportamiento y resultado obtenido. En cada caso hay que diseñar y cumplir con el procedimiento de elaboración y fijación de las probetas y pasos para la realización de los ensayos, así como el tipo de máquina y dispositivos en dependencia del mecanismo de desgaste principal. Por ejemplo [22] las probetas de metales blandos hay que cortarlas con segueta, torno, fresadora y las de material duro en rectificadora con disco abrasivo fino y enfriamiento adecuado. Los dispositivos de fijación deben ser resistentes y cómodos.

Para la determinación del mecanismo de desgaste principal es necesario seguir los siguientes pasos [22]:

- 1.-Caracterizar el proceso tecnológico de elaboración de las superficies en contacto.
- 2.- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de las superficies en contacto.
- 3.- Características geométricas de las piezas.
- 4.- Conocer la microestructura de la capa superficial.
- 5.- Determinar el micro relieve de la superficie.
- 6.- Determinar micro dureza y la estructura de la superficie deformada (huella).
- 7.- Condiciones de trabajo (caracterización de la lubricación del par, presión específica de trabajo, velocidad de deslizamiento, temperatura de las capas superficiales).
- 8.- Tiempo de trabajo de las piezas.
- 9.- Características geométricas del desgaste.
- 10.- Características y tensiones residuales de la capa superficial desgastada-
- 11.- Micro relieve de la superficie desgastada.

Al elaborar la documentación del caso se debe incluir: Foto de la pieza desgastada, Gráfico del micro desgaste, fotografía del micro relieve de la superficie desgastada, sección transversal de la superficie desgastada, capa desgastada en el plano (huella), medición de micro dureza en esta zona, definir tipo de desgaste predominante.

En dependencia de las circunstancias, posibilidades y rigor del análisis pueden incluirse otros datos o prescindir de alguno de éstos.

La recuperación de piezas permite a las empresas disminuirla dependencia de suministradores aprovechar el recurso residual al agotarse su vida útil, reducir los costos de reparación y mantenimiento, disminuir los consumos de energía, reducir contaminación ambiental y alargar la vida útil de las piezas de repuesto [21].

1.5.2 Particularidades de la Norma ASTM G77 de ensayos de desgaste

La Norma Internacional designada como ASTM G77-98 [31] establece el procedimiento para ensayos de desgaste por fricción de materiales mediante determinadas condiciones. Tiene además la particularidad de ser muy flexible en cuanto a los materiales a comprobar, aunque las pruebas de laboratorio son propias para metales y también es aplicable para disímiles condiciones de velocidad rotatoria, carga, lubricantes, siempre en aras de simular lo mejor posible las circunstancias reales de trabajo.

El resultado final de la prueba se mide con la pérdida en volumen en mm^3 de las piezas sometidas a ensayo de desgaste, lo que requiere mediciones con exactitud proporcional a las magnitudes a medir de la pérdida volumétrica como consecuencia del desgaste y no por desprendimiento de material por deformación plástica, porque falsea el resultado. Hay que tener en cuenta que hay ensayos que la pérdida volumétrica es muy pequeña por ser material de alta resistencia al desgaste y se dificulta realizar mediciones que den la verdadera magnitud.

Basado en la relación directa entre el volumen y el peso y teniendo en consideración las condiciones reales en que se desarrolló este trabajo es preferible calcular la pérdida de material por desgaste mediante el pesaje de las probetas antes y después del ensayo. Las pérdidas de las probetas están en relación directa al tiempo y condiciones de los ensayos y prácticamente nulos en el otro elemento del par, en correspondencia con las propiedades del anillo (latón) y el piñón (acero endurecido), requiriéndose por tanto mediciones rigurosas y de gran exactitud.

Teniendo en cuenta las condiciones específicas de servicio del sincrónico del camión ZIL 130 Y 131, es imprescindible aplicar una Norma de Ensayo Tribológico de desgaste que sea suficientemente flexible, permita realizar los ensayos en condiciones que sean factibles, uniformes y simulen con bastante fidelidad las condiciones reales de trabajo del anillo y los mecanismos de desgaste de adhesión por soldadura y ligera abrasión.

El procedimiento debe garantizar fidelidad en la repetición de los ensayos en diferentes probetas, en igualdad de condiciones, así como el cumplimiento de las exigencias en materia de salud y protección, ya que la variedad de situaciones implica que se realicen ensayos con personal, equipos y condiciones diferentes.

1.6 Aleaciones cobre - zinc

1.6.1 Características de las aleaciones cobre - zinc

Las aleaciones de cobre según la Asociación para el Desarrollo del Cobre [32], clasifican en aleaciones para forja y para fundición. Entre las de forja se pueden citar las aleaciones de cobre y zinc (hasta el 45% al 50 % máximo, porque a partir de este valor son muy frágiles con algún que otro elemento, en las de fundición las aleaciones de cobre y estaño y las de cobre alto.

Las aleaciones con base de cobre están divididas según su composición química en dos

grandes grupos: Bronces con la combinación binaria de cobre y estaño (que no detallaremos por no estar relacionada con este trabajo) y la combinación del cobre con zinc, comúnmente denominada latón [33, 34]. Su diagrama de estado contiene 6 fases, que se pueden apreciar en la Figura 1.12 donde aparece el clásico diagrama de estado cobre zinc compuesto por 5 fases en estado sólido, que son [35, 36]:

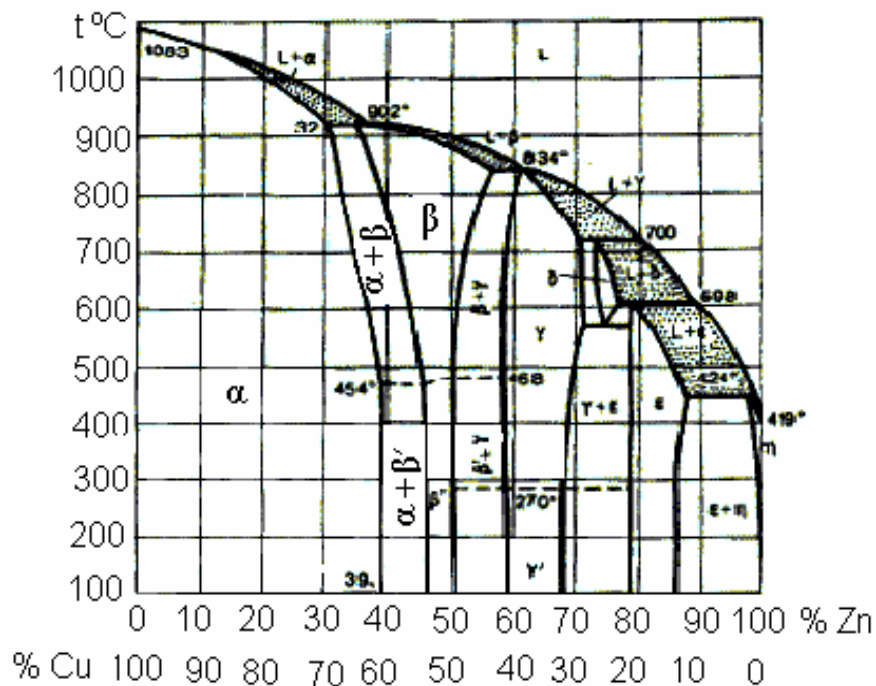


Figura 1.12 Diagrama de estado Cu-Zn

Fuente: Metalografía. Guliaev Tomo II.

- Ø Solución sólida “α” de 39 % de solubilidad del zinc en cobre.
- Ø Solución sólida “β” a base del compuesto Cu-Zn
- Ø Soluciones sólidas “γ” compuesta por Cu₅Zn y soluciones sólidas, “η” y “δ”.

En el Anexo 3 se detallan las características de cada una de las soluciones que se forman según el diagrama de Guliaev.

En la reacción peritética, una fase líquida reacciona con una fase sólida para formar una fase sólida nueva y diferente, lo que puede ser representado:



En el Anexo 4 se muestran los tipos de reacciones invariantes de tres fases que se presentan en diagramas binarios según William F Smith [37].

Es precisamente el entorno 39-45 % de zinc el que alcanza los mayores valores de resistencia mecánica según se observa en la Figura 1.10 correspondiéndose con la mezcla de las fases “ α ” + “ β ”. Independientemente de que cada latón atendiendo a su composición química tiene sus peculiaridades, de forma general se conoce que:

- * Son factibles de deformar plásticamente a temperatura ambiente, especialmente los que tienen solución sólida “ α ”, para la fabricación de alambres, cintas y chapas finas. Pero a 500-700 °C son menos plásticos que los de solución sólida “ β ”.

- * Para trabajos de laminado en caliente se prefieren Latones con fase “ α ” + “ β ” o “ β ” de se prefieren para trabajos en frío, tales como.

Las aleaciones Cu-Zn en la” fase β ” forman un compuesto electrónico Cu-Zn que tiene una red cristalina cúbica centrada en el cuerpo diferente a la de sus elementos, está basada en la relación 3/2 de electrones de valencia con respecto al número de átomos, y en la “fase α ” forman una solución sólida base cobre con una estructura cristalina, adoptando la red cristalina cúbica centrada en las caras, propia de este elemento que funge como solvente, aunque la del zinc puro es hexagonal ocurre la inserción y sustitución de átomos de Cu por átomos de Zn en la red cristalina, siendo proporcional la variación del parámetro de la red formada con átomos de diferentes tamaños, al mejoramiento por endurecimiento de la aleación. En este caso hay poca diferencia entre los átomos de ambos elementos, ya que el Cu tiene 29 electrones y masa atómica 65. 546 y el Zn 30 electrones y 65.409 de masa atómica.

Cuando las superficies en contacto son de metales de diferentes naturalezas el proceso de desgaste adhesivo se caracteriza por el traspaso de partículas de material de menor cohesión al de mayor. Resulta conveniente seleccionar pares de fricción con materiales base de diferentes estructuras, propiedades químicas y solubilidad [22]. Este es el caso del par tribológico acero con tratamiento químico térmico y la aleación Cu-Zn.

1.6.2 Influencia de los elementos de aleación en las aleaciones Cu-Zn

Las aleaciones Cu-Zn más atractivas para el propósito que se persigue son las que tienen la fase “ α ” y “ β ”. En la Figura 1.13 [36] se observan algunas de las características mecánicas de esta aleación binaria.

A simple vista se observa que el zinc eleva la resistencia mecánica y la elongación a medida que va aumentando su concentración hasta el 39 %, en correspondencia con la fase “ α ”. Luego en el entorno 39 % hasta 45 % de zinc aparece la fase “ α ” + “ β ” que tiene los máximos valores de resistencia mecánica, pero va disminuyendo la plasticidad.

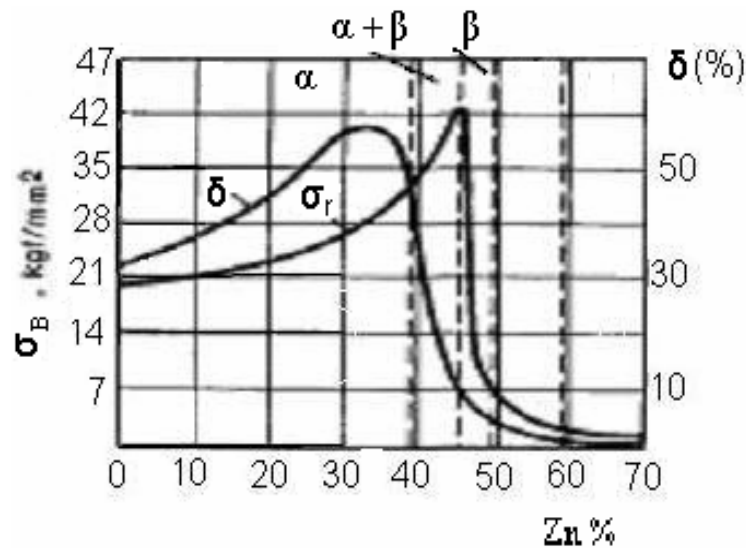


Figura 1.13 Propiedades mecánicas de las aleaciones de Cu - Zn

Fuente: Metalografía. Guliaev Tomo II.

El contenido de elementos de aleación varía considerablemente el comportamiento de los latones. Para conocer la conducta de una aleación específica se emplea el cálculo del zinc equivalente [36] otorgándose un valor determinado a cada elemento en dependencia de su influencia en las propiedades en comparación con el zinc. De esta forma es posible acudir al diagrama binario Cu-Zn con el valor del zinc equivalente para ubicar la fase que corresponde a la solución sólida de la aleación solo en casos de una composición química que no sea compleja

Algunas propiedades o características importantes son comunes, otras estarán condicionadas a determinados elementos de aleación y su proporción. A continuación se muestran cuatro de las más generalizadas en las diferentes aleaciones Cu-Zn:

1.- Fuerte afinidad con el oxígeno [26, 27] que es imprescindible tener en cuenta para evitar defectos en las soldaduras, tales como, falta de fusión, porosidad o grietas durante o después del proceso ya que el cobre forma una frágil eutéctica a temperaturas superiores a 1065 ° C que lo ubica en los límites de granos disminuyendo la plasticidad en el metal aportado y en la zona afectada por el calor. Además el Cu_2O puede causar otros trastornos si el calentamiento ocurre en atmósfera que contiene hidrógeno porque se produce una reacción de reducción formándose vapor de agua que incrementa la presión en el interior del metal fundido, siendo la fuente de microporos y grietas que posteriormente dan lugar a fisuras. Para disminuir esta posibilidad se recomienda utilizar el fundente adecuado.

2.- El coeficiente de dilatación lineal es 18.7 a 20.8 $\mu\text{m/m. }^{\circ}\text{C}$ [27, 38] (en dependencia de la composición química de estos latones) superior al de las aleaciones Fe-C, lo que implica variaciones dimensionales asociadas al calentamiento durante el proceso de soldadura.

Esto conlleva a un detallado análisis de las operaciones y secuencia del proceso de soldadura para evitar incrementos de las tensiones internas que son responsables de deformaciones de gran magnitud e incluso de fracturas en las inmediaciones del depósito [27, 38], lo que dificulta el proceso de soldadura al disiparse el calor aportado y la fusión del metal base con el metal de aporte no se logra en las condiciones necesarias si no se toman precauciones al respecto. Por eso generalmente las piezas son sometidas a precalentamiento a temperaturas que dependen del tipo de latón, magnitud y forma de la pieza, espesores de pared, tipo de material de aporte y el proceso de soldadura empleado, aunque el análisis nos puede llevar a la adopción de otras medidas como mantenimiento de la temperatura a determinados niveles durante el proceso. Se pueden utilizar rangos de 600 a 650 $^{\circ}\text{C}$ con posterior enfriamiento lento.

3.- La presencia de elementos de aleación como plomo y el aluminio, disminuyen la soldabilidad de estas aleaciones por la formación en la superficie de un óxido refractario, por lo que se recomienda que el material de aportación contenga silicio, níquel o estaño para reducir la posible evaporación o volatilización del zinc durante el proceso [27, 39].

Cada latón posee propiedades en dependencia de su composición química, por lo tienen un comportamiento particular durante el tratamiento en caliente. Por ejemplo, una aleación de 48 % Cu, 40 % Zn, 0.3 % Mn, 0.4 % Ni, 0.1 % Si y 0.4 % Fe, funde en el rango de 890 $^{\circ}\text{C}$ a 900 $^{\circ}\text{C}$ [40]. La temperatura de fusión de la aleación de los anillos del sincrónico debe estar próxima y algo superior a este entorno. Por eso es práctica corriente que se tipifiquen los más utilizados y comercializados para conocer sus características, ya que los elementos de aleación **cambian los límites de las transformaciones de fase en los latones más complejos** [36].

Independientemente de la influencia de determinados elementos de aleación en las propiedades mecánicas, también otorgan características que son importantes:

Influencia sobre el esfuerzo de cedencia del cobre [41]. En la Figura 1.14 se muestra una representación de la influencia de varios elementos de aleación (Zn, Ni, Al, Sn, Si, Be). El Zn tiene los menores valores de cedencia, por tener masa atómica casi igual que el cobre y por tanto se necesita deformar menos la red cristalina para su inserción o sustitución. El Berilio tiene la menor masa atómica de los elementos de la figura y por tanto el mayor esfuerzo de cedencia.

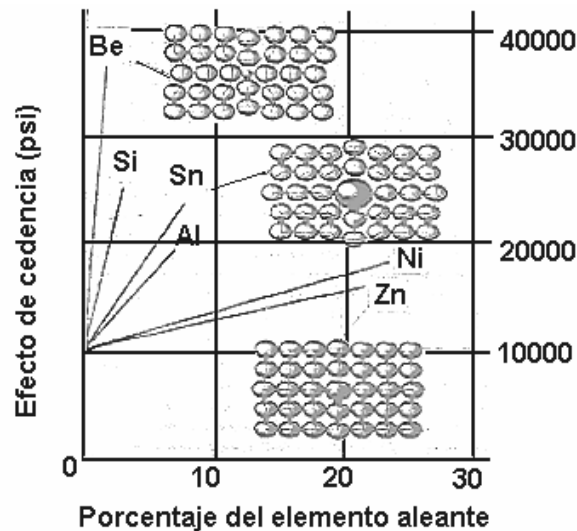


Figura 1.14 Efecto de algunos elementos de aleación sobre el esfuerzo de cedencia del cobre

Fuente: Ciencia e Ingeniería de los Materiales Donald R. Askeland.

Zinc: Es el elemento aleante mayoritario. Al tener bajo punto de fusión, la soldadura resulta engorrosa a causa de la evaporación [27], pudiendo provocar la aparición de porosidad y reducción de las propiedades mecánicas en determinados rangos. Cuando ocurre la evaporación se observa durante la solidificación la sedimentación blanca característica del óxido de zinc. Es necesario tomar precauciones durante el proceso para no inhalar sus gases que son tóxicos y producen náuseas y fiebre.

Las propiedades por efecto del endurecimiento de las soluciones sólidas sufren variaciones apreciables, tales como:

- Ø La resistencia a la tensión y la dureza de la aleación son mayores que en los materiales puros.
- Ø La conductividad eléctrica de la aleación será mucho menor que la del metal base puro.
- Ø Generalmente la ductilidad de la aleación será menor que la del material puro. Solo en casos raros como sucede con la aleación Cu-Zn, el endurecimiento por solución sólida incrementa tanto la resistencia como la ductilidad.

El aumento en el porcentaje de elongación al incrementarse el contenido de zinc no es típico del endurecimiento por solución sólida [42]. En la figura 1.15 se muestra una representación de la red con estas dos fases. Esto se debe a que la solubilidad del zinc en el cobre es limitada.

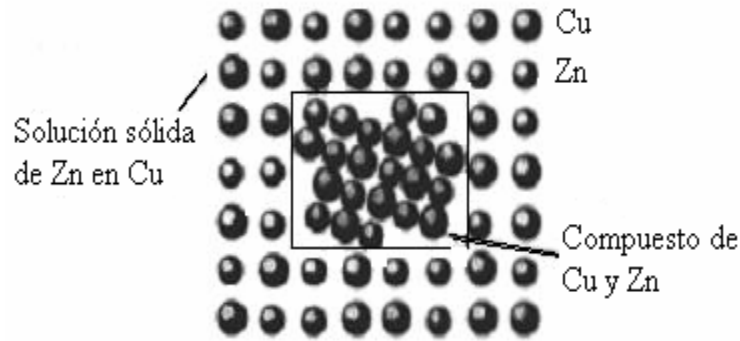


Figura 1.15 Representación de la conformación de dos fases de solución sólida en la aleación de cobre con más de 30 % de zinc

Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Donald R. Askeland.

Si al cobre líquido se le agrega una cantidad de zinc líquido, se producirá una nueva solución sólida líquida. En la Figura 1.16 se ve el comportamiento de la solubilidad de estos elementos, que se incrementa con el aumento de la temperatura.

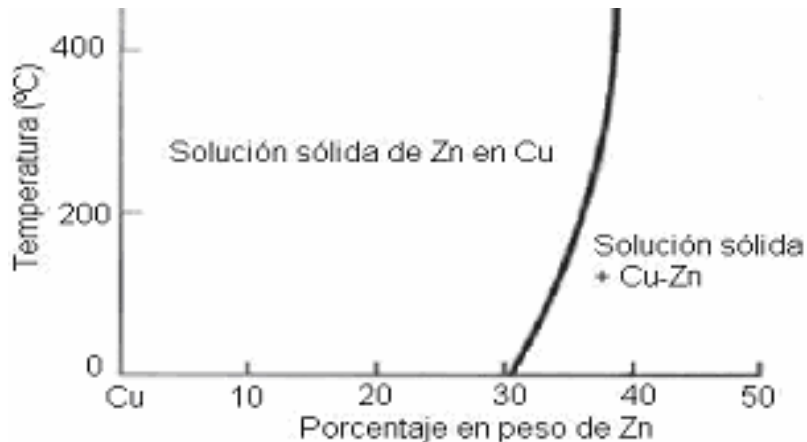


Figura 1.16 Solubilidad del zinc en el cobre

Fuente: Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Donald R. Askeland.

Los componentes de una solución sólida no se comportan como una mezcla, se disuelven en el otro y no retienen sus características propias.

Las propiedades de los latones dependen de la proporción de elementos que intervengan en la aleación [32] de tal forma que algunos tipos de latón son maleables únicamente en frío, otros exclusivamente en caliente, y algunos no lo son a ninguna temperatura. Todos los tipos de latones se vuelven quebradizos cuando se calientan a una temperatura próxima al punto de fusión.

El plomo tiene gran ascendencia en las características de estas aleaciones [27, 35, 37]. Es

insoluble en la matriz. Del 1 al 2 % mejoran la maquinabilidad. Aleaciones con menos del 32 % Zn, no aconsejan la presencia de plomo por formar inclusiones fusibles con el bismuto en los límites de granos. A mayor concentración de zinc durante la recristalización pasa al interior de los granos en las transformaciones de fases. Es el que más disminuye la soldabilidad, aumentando la fragilidad en caliente provocando la aparición de poros y fisuras en el cordón. Se emplea en piezas que requieren bajo coeficiente de fricción acompañado de elevada resistencia mecánica. Actúa en estos casos como lubricante sólido.

En la Tabla 1.3 se resume la influencia de otros elementos de aleación en las propiedades de la aleación Cu-Zn [27, 35, 37].

Tabla 1.3 Influencia de elementos de aleación en las propiedades de las aleaciones Cu-Zn

Propiedades	Sn	Si	Al	Ni	P	Mn
Resistencia a corrosión o corrosión marina	M			M		
Soldabilidad	M	M	D (1)	M		
Reduce evaporación del Zn	Sí	Sí		Sí		
Reduce conductividad térmica		Sí	Sí	Sí		
Reduce coeficiente de fricción en metal aportado		Sí	Sí	Sí (2)	Sí	Sí
Propiedades mecánicas en general			M			
Mejora resistencia mecánica				Sí		Sí
Aumenta dureza				Sí (3)		
Disolución en cobre				M		
Sensible a impurezas de S y P > del 0.02 %				Sí (4)		
Desoxidante					Sí (5)	
M: Mejora; D: Disminuye. 1, El aluminio forma óxidos refractarios; 2, A elevadas temperaturas; 3, Durante el servicio; 4, Por peligro de fragilidad y fisuración; 5, De 0.02 % a 0.5 % en la composición.						

En general, para definir la composición química de una aleación de latón y del cordón de relleno hay que balancear los efectos positivos y negativos de cada elemento para las características del proceso y los requerimientos finales. Por la influencia que tienen los procesos de soldadura en las propiedades mecánicas, es imprescindible conocer las características de la aleación Cu-Zn de los anillos y del metal de aporte que sea seleccionado y predecir mediante ensayos y simulación, el comportamiento de la aleación posterior al relleno.

1.7 Conclusiones parciales del Capítulo I

- 1.- El relleno de los anillos de los sincrónicos de las cajas de cambio de los camiones ZIL 130 y 131 que se realiza en la EMI de Sancti Spiritus se ha hecho de forma experimental, sin respaldo técnico, no se conoce las características del material de aporte, por tanto no tiene una tecnología fundamentada. Tampoco se han hecho pruebas y análisis que avalen los resultados ni se le ha dado seguimiento posterior a la explotación en camiones reparados y tiene dependencia total del suministro del material de aporte.
- 2.- El par tribológico del anillo del sincrónico-piñón de la caja de cambios de los camiones ZIL 130 Y 131 está sometido a un mecanismo de desgaste adhesivo como fundamental, con la incidencia de altas presiones y ligeros impactos entre las superficies de deslizamiento y como secundario un mecanismo de desgaste abrasivo ligero, producto de contaminantes indeseables que se mezclan con el lubricante.
- 3.- Resulta conveniente aplicar el relleno con llama oxiacetilénica atendiendo a su factibilidad tecnológica en la soldadura de latones, por ser un método convencional, relativamente barato, pero que requiere el cumplimiento de exigencias tecnológicas propias de estos procesos y materiales.
- 4.- Se hace necesario la realización de ensayos complementarios de laboratorios para determinar las características físico-químicas del metal base de los anillos del conjunto sincrónico y del metal de aporte ensayado en la EMI para el relleno, y ensayos de desgaste si fuera necesario.
- 5.- Las aleaciones Cu-Zn de los anillos de los sincrónicos de las cajas de cambio de los camiones ZIL 130 y 131, tienen cierta complejidad por su composición química y estructura, debido fundamentalmente a la cantidad y diversidad de elementos de aleación que influyen durante el proceso de recuperación. Poseen una dureza no menor de 135 HB y tienen una vida útil relativamente prolongada en las condiciones reales de trabajo.

CAPÍTULO II

Materiales y Métodos

2.1. Caracterización del material de los anillos cónicos del subconjunto sincrónico y del material ensayado en la EMI para el relleno

Para cualquier selección u obtención de un material de aporte para la recuperación por relleno de los anillos de latón de los sincronizadores de la caja de cambios, se hace necesario la caracterización del material del anillo original y del material o materiales seleccionados u obtenidos. Esta caracterización debe incluir la composición química, microestructura y dureza de las superficies que se desgastan y como elemento concluyente que integra el efecto de estas propiedades, es necesario realizar los ensayos de desgaste y su evaluación relativa.

2.1.1. Preparación de las muestras para el análisis químico, metalográfico y de dureza de los anillos.

Para el análisis químico y metalográfico de los anillos cónicos del subconjunto sincrónico se extrajeron muestras, cortadas de anillos que ya habían trabajado en explotación., en los análisis químico y de dureza se utilizó la técnica operativa que se aplica en el laboratorio de metalografía de la UCLV.

Composición química del material del anillo sincrónico.

Para la determinación de la composición química pueden usarse métodos tales como emisión atómica (espectral), absorción atómica, vía húmeda, carbonimetría, rayos-X, entre otros. Estos análisis se realizaron mediante emisión atómica (espectral), en un equipo Spectrolab (Figura 2.1), en los laboratorios de la Empresa Planta Mecánica en la provincia de Villa Clara.



Figura 2.1. Equipo Spectrolab Laboratorio de Planta Mecánica.

Análisis metalográfico.

Para las observaciones metalográficas se extrajo una muestra (probeta) del anillo de latón cortada transversalmente a la superficie de trabajo objeto de estudio.

La muestra fue pulida 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.

Las observaciones metalográficas se realizaron sobre las muestras pulidas y atacadas, con un Microscopio metalográfico marca NOVEL, modelo NJF-120A, Figura 2.2, siguiendo el procedimiento establecido en el Centro de Investigaciones de Soldadura para estos análisis. Las imágenes fueron registradas por medio de una cámara digital marca Canon, modelo A630, resolución 8 MPíxel.

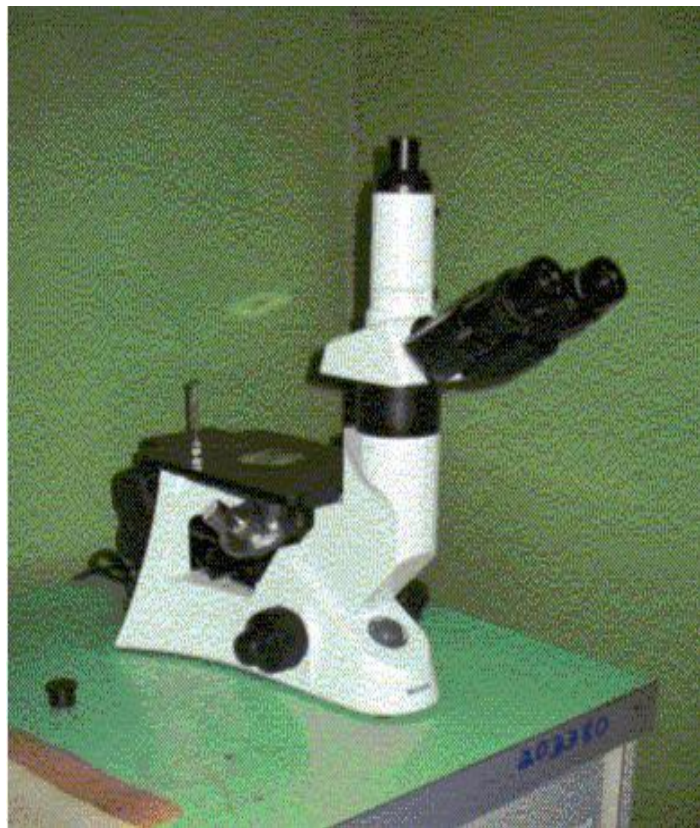


Figura 2.2. Microscopio metalográfico marca NOVEL.

Medición de la dureza.

Las mediciones de la dureza se realizaron en un Durómetro Vickert marca Hecke (Figura 2.3). La carga aplicada fue de 10 kg/mm^2 , y se realizaron cinco mediciones en la zona de la muestra perteneciente a la superficie de trabajo después de eliminada una pequeña capas para garantizar planicidad y las incrustaciones durante la explotación. Se realizaron comprobaciones con mediciones en la cara opuesta de la zona de trabajo coincidiendo los resultados.



Figura 2.3. Durómetro Vickert marca Hecke

2.1.2 Caracterización del material de aporte (relleno) de anillos cónicos recuperados en talleres de la EMI Cor.

Se siguieron los mismos materiales y métodos usados en la caracterización del material del anillo original para obtener: composición química del depósito, microestructuras del depósito y metal base, y valores de durezas del depósito y metal base.

Las muestras para la medición de la composición química de los depósitos, se rellenaron en los talleres de la (EMI) Cor. Francisco Aguiar Rodríguez con el proceso de soldadura (llama oxiacetilénica) y material de aporte descrito en el Capítulo I.

Para las observaciones metalográficas y mediciones de dureza, las muestras se cortaron de forma transversal a la superficie rellenada, de manera que se obtuviera en ella el revelado del metal base y metal aportado.

Las mediciones de dureza se realizaron al metal de relleno por la superficie de trabajo (rellenada y maquinada), quedando en un plano secundario y sin influencia el metal base original.

2.2 Selección y fundamentación de un material de relleno para los anillos 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 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 como material de aporte, varillas obtenidas por fusión y vertido en molde metálico a partir del mismo material de los anillos de los sincrónicos desechados. En este proceso se desarrollan cambios en las propiedades físicas, químicas y mecánicas, sin embargo estos cambios dentro de determinados límites pueden garantizar propiedades finales que interactuando en conjunto pueden dar como resultado una resistencia al desgaste satisfactoria.

Teniendo en cuenta 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 [3].
- 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.
- 4.-La reutilización de un material hasta el momento desechado como chatarra para materias primas.

2.3. Obtención del material para el relleno del sincrónico

Obtención del material para el relleno del sincrónico

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. Las

probetas a evaluar se obtuvieron mediante 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.

2.3.1. Obtención de las probetas mediante fusión en horno eléctrico

La fusión se realizó en un horno eléctrico tubular de laboratorio, de pequeño tamaño, 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 de diferentes anillos. El tamaño de los trozos no debe ser significativamente diferente para evitar pérdidas por oxidación con la fusión prematura de los trozos más pequeños.

La temperatura del metal fundido en el horno se llevó hasta valores de 970 – 1000 °C 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 2.4. Para la evaluación se obtuvieron tres réplicas del metal fundido y vertido, con formas y dimensiones acorde al tipo de ensayo.

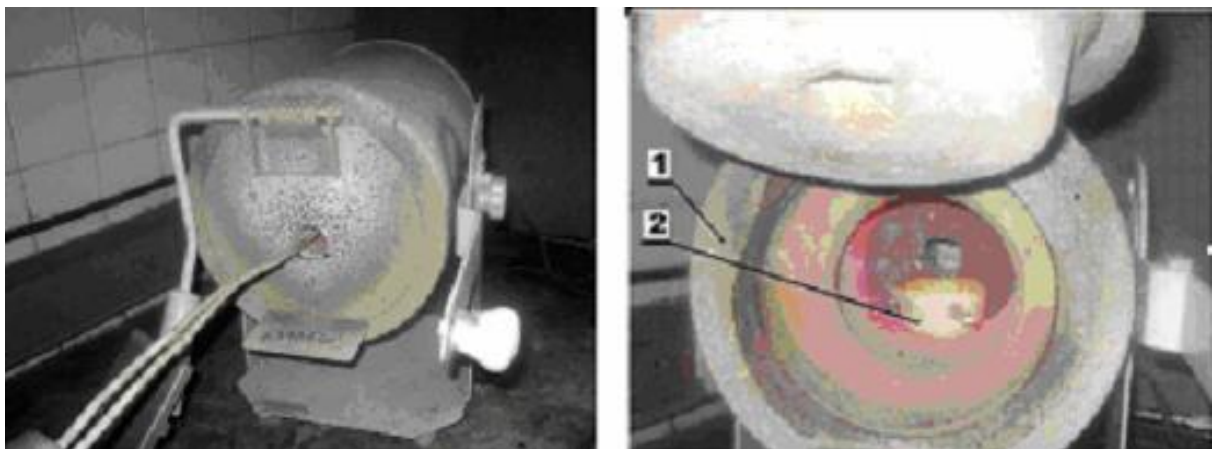


Figura 2.4 Horno eléctrico utilizado en el proceso de fundición

1, horno eléctrico; 2, crisol de cerámica.

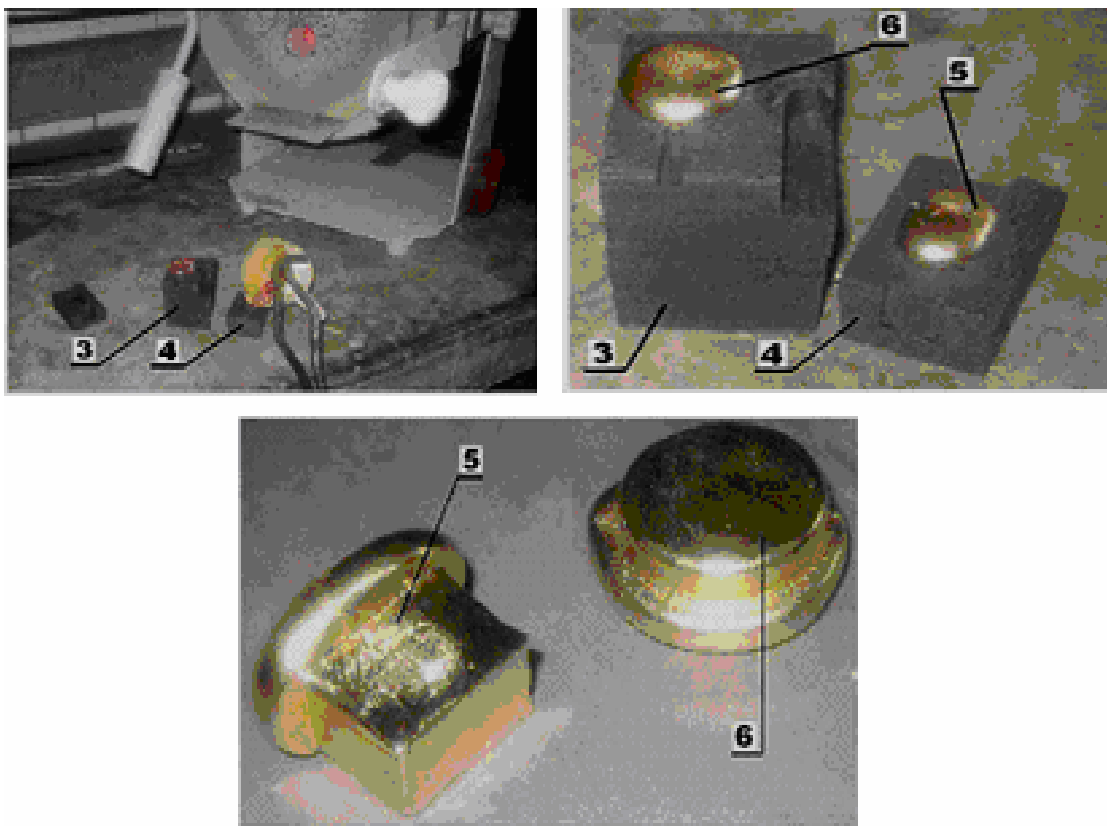


Figura 2.5 Vertido del material en los moldes

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).

Antes del vertido los moldes se precalentaron en una estufa marca Heraeus (Alemania) (ver Figura 2.6), a temperaturas aproximadamente de 250 ° C., con el fin de lograr la adecuada fluidez del metal fundido durante el vertido y llenado del molde.



Figura 2.6 Estufa utilizada en el precalentamiento de los moldes de grafito

2.3.2 Obtención de las probetas mediante fusión con llama oxiacetilénica

La fusión con llama oxiacetilénica se realizó utilizando un crisol de grafito, figura 2.7, 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.

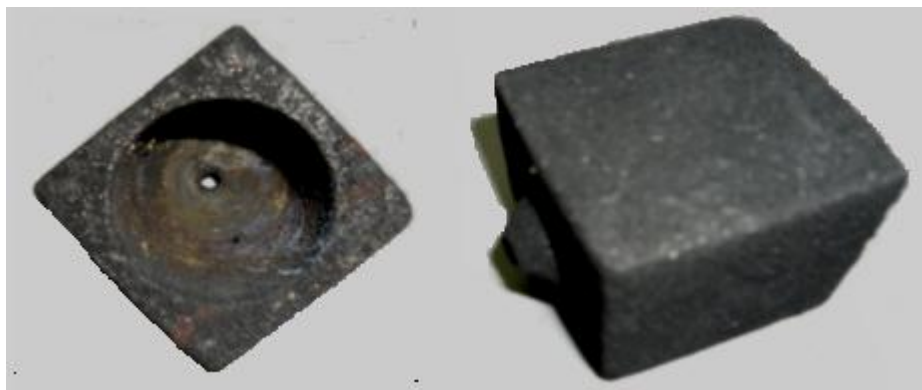


Figura 2.7 Crisol de grafito utilizado en el proceso oxiacetilénico

Aunque para la soldadura del latón se recomienda la llama completamente oxidante para minimizar las pérdidas de Zn, la fusión se realizó con llama oxidante en la etapa de calentamiento cambiando a neutra con el metal cercano a la fusión, para proteger de las pérdidas por oxidación de los elementos de aleación como el Mn y el Al, a costa de algunas pérdidas de Zn, ya que estos elementos determinan en las propiedades de la aleación, particularmente en la resistencia al desgaste [27, 35, 37].

El tiempo total de calentamiento, fusión y estabilización del metal fundido para el vertido fue de 6 minutos como promedio en las tres réplicas.

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.

2.4. Caracterización de los materiales obtenidos por fusión

Para la determinación de la composición química, los análisis metalográficos y las mediciones de dureza y caracterización, se siguieron los mismos, métodos, equipos, procedimientos prácticos y materiales usados en la caracterización del material del anillo original.

2.5 Ensayos de desgaste y determinación del desgaste relativo

Realización de los ensayos de desgaste

Para la realización de los ensayos de desgaste se definió en el Capítulo I la preferencia de la Norma ASTM G77, donde uno de los ensayos se basa en el desplazamiento relativo y fricción de un bloque de ensayo sobre un anillo (Figuras 2.9 y 2.10), 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.

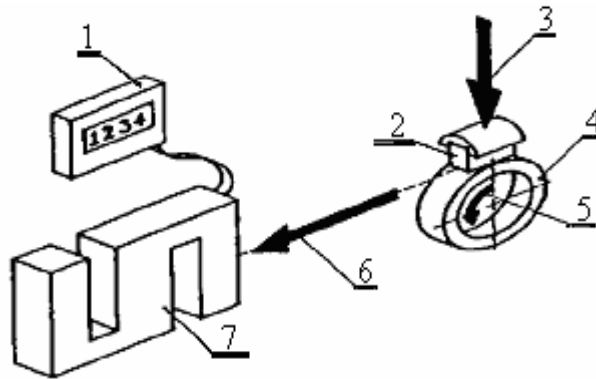


Figura 2.9 Representación del ensayo según la norma ASTM G77

1, Indicador de la carga de fricción; 2, Bloque de ensayo; 3, Carga aplicada; 4, Aro del par de ensayo; 5, sentido de rotación; 6, Dirección y sentido de la fuerza de fricción generada; 7, Celda registradora de la fuerza de fricción.

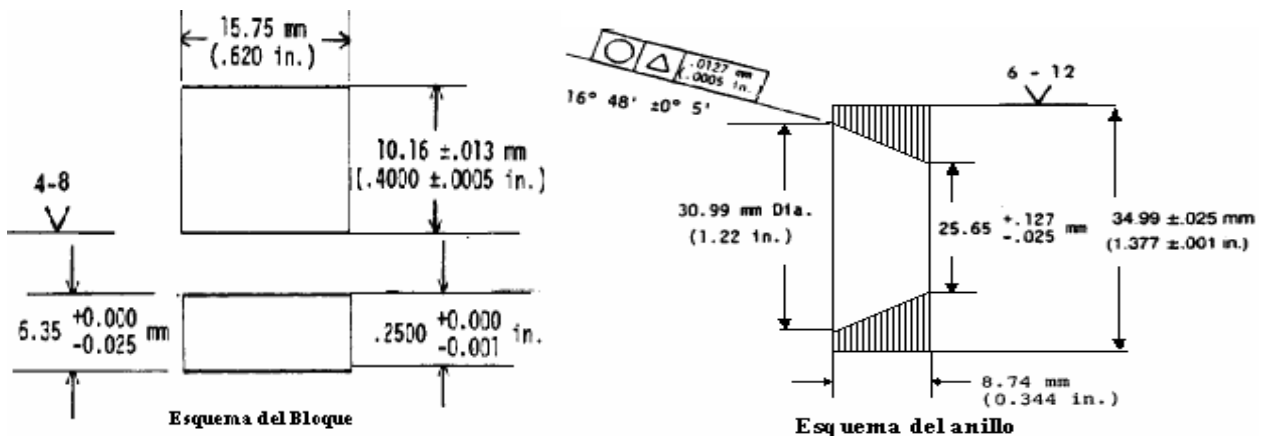


Figura 2.10 Esquema del bloque y del anillo para el ensayo según la norma ASTM G77

El volumen de la huella o desgaste del bloque se calcula a partir de su anchura, 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.

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 para que el dispositivo permita su uso montado sobre un torno universal o banco de ensayo universal, además que se pueda 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.

Bajo estos mismos principios se diseñaron, construyeron y utilizaron diversos medios y dispositivos para realizar los ensayos tribológicos de desgaste del par objeto de estudio. Las probetas simulan al anillo del conjunto sincrónico y fueron concebidas en un diseño que permite ciertas libertades en cuanto a su dimensionamiento (ver Figura 2.11), excepto en una cota de la superficie de ensayo que tiene ciertas restricciones, lo que facilita su fabricación. Esto es posible porque la huella del desgaste en la probeta es menor que la cota señalada.



Figura 2.11 Muestra de una de las probetas de latón para ensayo de desgaste

Para la colocación de la probeta en el ensayo de desgaste fue diseñado, y construido un dispositivo de forma sencilla, con suficiente rigidez, fácil de manipular en su montaje, desmontaje

y ajuste, ver Figura 2.12. Este dispositivo se monta a través de la zona de fijación en el portaherramientas del torno.

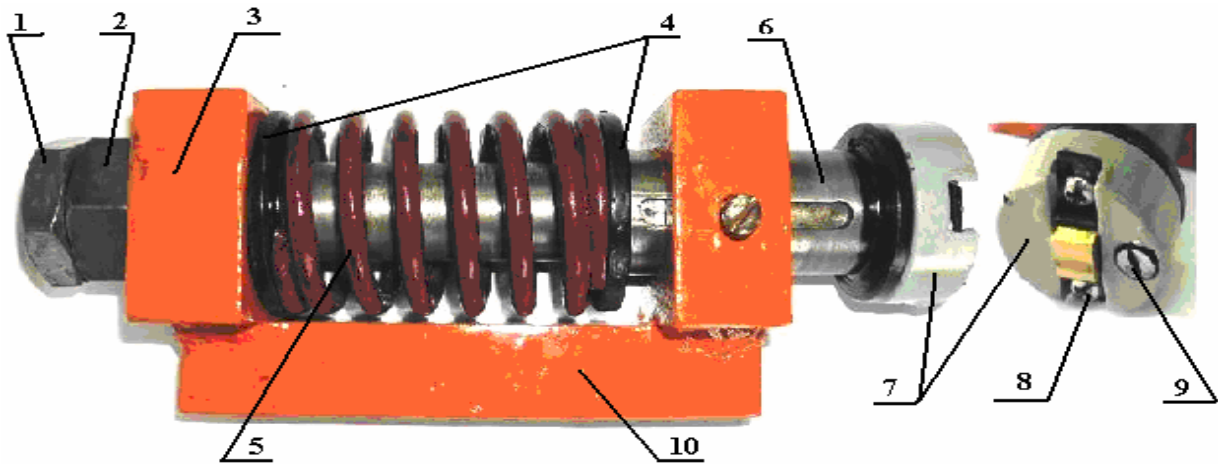


Figura 2.12 Dispositivo porta probeta

- 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.**

En el ensayo de desgaste es necesario aplicar una carga de compresión entre los dos elementos del par, para acercarnos a las condiciones reales de explotación del anillo, que se logra mediante el avance en profundidad de la torreta.

La magnitud de la carga aplicada es determinada con la caracterización previa del muelle. Para ello 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 (cuyo punto de origen es cero), 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 2.13), hasta el desplazamiento que corresponde a dicha carga, medido con un reloj indicador de carátula con apreciación de 0,01mm.



Figura 2.13 Montaje del dispositivo

Para el otro elemento del par se escogió la pista exterior de un rodamiento (en este caso es una caja de bolas 203) que es de acero endurecido, igual que el piñón del par tribológico del conjunto sincrónico. Este elemento del par se montó sobre el dispositivo portador, Figura 2.14, concebido para su colocación en torno convencional entre centros, con el rodamiento fijo en la pista exterior e interior, que gira durante el ensayo mediante un perro de arrastre.

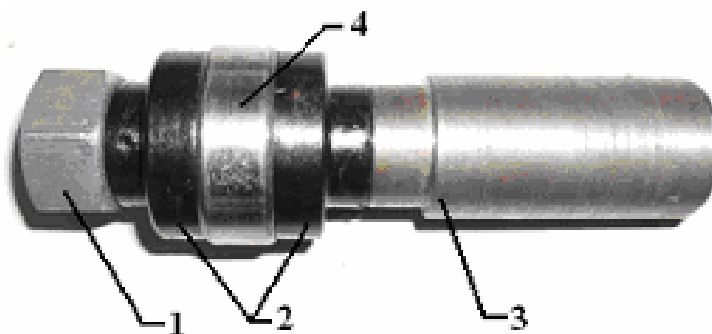


Figura 2.14 Dispositivo porta anillo

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

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

Posterior al proceso de fundición y elaboración mecánica y el pulido de las superficies a ensayar en cada probeta se procede a la limpieza rigurosa para eliminar todo vestigio de adherencia y suciedad. Primero con nafta, luego con alcohol y finalmente con agua destilada. A continuación se realizó el secado con calor en estufa. Se evitó la limpieza y secado con telas porque incorpora partículas a la superficie que altera el valor real de la masa al pesar [12]. A partir de entonces se guardaron en recipiente cerrado y la manipulación de las probetas se realizó mediante pinzas para evitar contaminación. Estas precauciones son necesarias ante la exactitud del pesaje en la balanza de precisión Sartorius que alcanza 10^{-4} gramos que se muestra en la Figura 2.15, que se hizo después de que las probetas alcanzaran la temperatura ambiente.



Figura 2.15 Balanza de precisión Sartorius

Condiciones establecidas para el ensayo de desgaste

- 1.- Con un pequeño recipiente con aproximadamente 8 cm.^3 de lubricante mezclado con 0.5 cm.^3 de arena sílice tamizado a 0.075 mms , colocado de forma que el anillo de acero al girar penetre dentro del aceite y arrastre la mezcla, iguales para todos los ensayos para poder establecer comparación de resultados que es lo más importante y para dar un ligero efecto abrasivo, similar a las condiciones reales.
- 2.- Aplicar un tiempo de prueba de 1 hora con una carga de 10 Kg. , tomado en base a pruebas

experimentales iniciales para lograr un nivel de desgaste adecuado con valores razonables para poder cuantificar las pérdidas en peso por desgaste durante un tiempo de prueba prudente.

3.- Se realizó una preparación previa a cada superficie a ensayar en las probetas. Posterior a la elaboración mecánica se procede a pulir con esmeril nº 600, limpieza meticulosa y luego un asentamiento inicial de 5 minutos bajo una carga de 10 Kg. para uniformizar las superficies, y para calibrar el dispositivo, ubicándolas de forma tal que no haya cambios en la posición de colocación.

4.-Posterior al ensayo se procede a observar meticulosamente con aumento, la superficie desgastada de la probeta para predeterminar a priori el posible mecanismo de desgaste, comparar con la superficie del anillo en el sincrónico y descartar la existencia de pérdida de material por deformación plástica.

Determinación del desgaste relativo

Para la medición del desgaste en las muestras se utilizó el método gravimétrico [12]. 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 cuales siempre tienen que comportarse de igual manera para las distintas probetas que serán ensayadas y comparadas posteriormente.

Siguiendo la norma ASTM G77 [12] y experiencias y recomendaciones de Herrera [43], 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 $k_d > 1$ significan mayor resistencia al desgaste del metal evaluado, con respecto al metal de la pieza o patrón y $k_d < 1$ 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.

Los valores de carga aplicada, revoluciones, características del lubricante, peso inicial, área de contacto del par y otros, que influyen en los resultados del desgaste a obtener en cada probeta no inducen a error, porque se está aplicando el concepto de desgaste relativo entre ellas, en las mismas condiciones de ensayo.

Los resultados de los ensayos que sigan una tendencia o lógica fundamentada por la teoría, permite acreditar las propuestas finales de este trabajo. No obstante, los ensayos de desgaste deben resultar definitivos, ya que es la resistencia al desgaste la propiedad mecánica fundamental de los anillos.

2.6 Conclusiones parciales del Capítulo II

1.- La caracterización de la aleación del anillo original con los métodos de laboratorio propuestos permitirá precisar la ubicación de la aleación en el diagrama bifásico Cu-Zn, las propiedades estructurales de composición química y dureza que servirán de referencia para la evaluación del material de aporte propuesto por la EMI de Sancti Spiritus una vez caracterizado éste, así como para la selección o desarrollo y obtención de otro nuevo.

2.-La obtención de una aleación a partir de la fusión y vertido en molde del material de los anillos de los sincrónicos desechados y su caracterización puede dar lugar a un nuevo material e aporte con propiedades y comportamientos similares a la de los anillos originales.

3.- La obtención de la aleación mediante dos procesos significativamente diferentes en cuanto a su intensidad, tiempo y efecto de la temperatura y el medio en que se desarrolla permite evaluar sus respectivos efectos en la magnitud de los cambios de propiedades y comportamiento de la aleación obtenida con relación al material original.

4.- La caracterización de las aleaciones en cuanto a propiedades como composición química, microestructura, dureza y resistencia al desgaste relativo, permitirá definir el proceso a recomendar para la obtención del material de aporte.

5.- En el proceso de fusión y vertido en molde de una aleación Cu-Zn, se obtiene estructura y propiedades similares sin gran influencia de cambios en la velocidad de calentamiento y enfriamiento, lo que permite comparar con los resultados a obtener durante el proceso de relleno de los anillos con el material de aporte propuesto.

CAPÍTULO III

Análisis de los resultados

3.1 Resultados de los ensayos realizados al material de los anillos cónicos del subconjunto sincrónico y del material ensayado en la EMI para el relleno

3.1.1 Resultados de los ensayos de composición química del material de los anillos del sincrónico

Los análisis de composición química a los anillos de los sincrónicos fueron realizados con el equipo y procedimiento descrito en el Capítulo II. y los resultados se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Resultados del análisis químico 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
<i>Los valores son el promedio de cinco mediciones (chispazos).</i>						

De acuerdo con los resultados del análisis químico obtenido del metal base y las características y composición establecidas para los latones según la norma GOST 17711-72, se puede identificar como un latón complejo bifásico “ $\alpha + \beta$ ”, que puede corresponder a la marca ЖИМЦА 57-2-1 (2% Mn, 1% Al), muy similar a la aleación identificada según documentación técnica (ЖИМЦА 58-2-1-1). La identificación de esta aleación de latón compleja, por su composición no es posible determinarse o ubicarla con precisión o seguridad en la zona “ $\alpha + \beta$ ” en el diagrama de estado Cu-Zn, Figura 1.12, ya que los elementos de aleación cambian los límites de las regiones de fase. Estas aleaciones de latón son típicas para la elaboración por estampado, lo que se corresponde con el método de elaboración descrito por la documentación técnica del camión ZIL 130-131 [14], para la fabricación de estas piezas.

El cálculo del % Zn equivalente de la composición química en esta aleación del, da como resultado 49.11 %, producto de los elementos de aleación que contiene, que trasladan los límites de los cambios de fase hacia la derecha del diagrama, contribuyendo al mejoramiento de las propiedades mecánicas, entre ellos el Mn y el Al que elevan la dureza, resistencia mecánica y

resistencia al desgaste lo que debe reafirmar que en realidad se trata de una solución sólida “ $\alpha + \beta$ ”. No obstante debe ser corroborado con otros ensayos como dureza, metalografía y resistencia al desgaste para completar la caracterización de la aleación.

3.1.2 Resultados de los ensayos de dureza del material de los anillos del sincrónico

Los resultados de las mediciones de la dureza en la superficie del metal de los anillos se presentan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Valores de las mediciones de la dureza superficial del metal base.

Zona de medición	Mediciones (Hv)					
	1	2	3	4	5	Media
Metal base	154	156	158	158	161	157

Este resultado cumple con el requisito de dureza mayor de 135 HB (135 Hv) precisado la documentación técnica del fabricante.

Como ya fue expuesto en el Capítulo I, epígrafe 1.6.1, los latones utilizados en la práctica a temperatura ambiente están constituidos de cristales α o una mezcla de cristales $\alpha + \beta$, como es el caso del material de los sincronizadores. Este tipo de aleación de microestructura bifásica presenta un nivel de resistencia mecánica (σ_B) superior a la del latón α (ver Figura 1.13), al mismo tiempo que presenta menor plasticidad (δ), o sea, ($\sigma_B = 30 \text{ kgf/mm}^2$ y $\delta = 40 \%$) para el latón α ; ($\sigma_B = 35 \text{ kgf/mm}^2$ y $\delta = 20 \%$ para el latón $\alpha + \beta$). Lo anterior puede observarse de manera más evidente en la figura 3.1, donde se advierte la disminución brusca de la plasticidad más allá del entorno de 35% de Zn, mientras que la resistencia sigue creciendo hasta el entorno de 50 % de Zn.

3.1.3 Resultados de los ensayos metalográficos del material de los anillos del sincrónico

Este ensayo fue realizado con las Técnicas operatorias que se utilizan en el Laboratorio de Metalografía de la UCLV de Vila Clara.

Como puede observarse, la microestructura correspondiente al metal de los anillos sincrónicos (Figura 3.1), aunque más dispersa, presenta similitud a la estructura típica de un latón bifásico “ $\alpha + \beta$ ” no aleado, presentado en la literatura [14], lo que unido a los resultados y análisis relativos a la composición química (Tabla 3.1), ya presentados en el epígrafe anterior, permite

afirmar que el material de los sincronizadores corresponde inequívocamente a un latón de tipo $\alpha+\beta$. Se declara por Guliaev [14], que este tipo de aleación bifásica, además de ser más resistente y tener menor plasticidad, suele ser más barata, ya que de manera general la sustitución de Cu por Zn disminuye los costos, al tiempo que la temperatura de procesamiento durante la obtención de la aleación disminuye (ver línea de “liquidus” en el diagrama de estado Cu-Zn de la Figura 1.12).

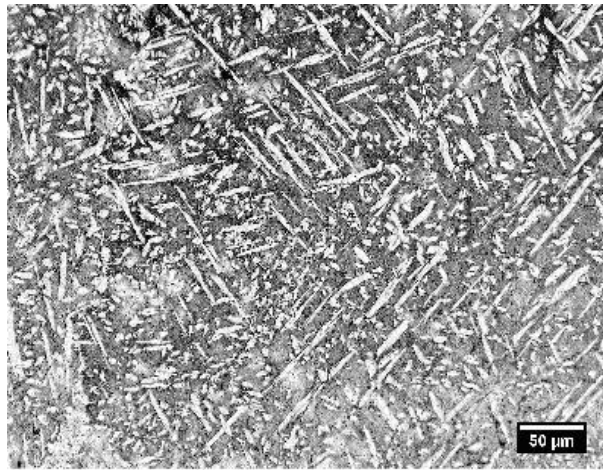


Figura 3.1 Microestructura del metal base (200x).

3.2 Resultados de los ensayos del material de relleno ensayado en la EMI

3.2.1 Resultados de los ensayos de composición química.

Los análisis de la composición química fueron realizados a todas las probetas con el equipo y procedimiento explicado en el Capítulo II. En la tabla 3.3 se muestran los resultados del análisis químico de los anillos rellenos con el material de aporte ensayado por la EMI en los anillos cónicos estriados y anillos cónicos lisos de latón del subconjunto sincrónico.

El análisis químico del relleno utilizado en la recuperación de los anillos cónicos del subconjunto sincrónico revela que al igual que el metal base, estamos en presencia de un latón de tipo bifásico $\alpha+\beta$, que lo ubica, hasta este resultado como similar al metal base. Sin embargo en este caso no se advierte la presencia de ningún otro elemento de aleación que pueda influir significativamente sobre las propiedades.

Tabla 3.3 Resultados del análisis químico del material de relleno 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	<0.0010	<0.0050	0.0141	<0.0010	<0.0050
<i>Los valores son el promedio de cinco mediciones (chispazos).</i>						

3.2.2 Resultados de los ensayos de dureza

Los resultados del análisis de dureza del material de relleno utilizado en la recuperación de los anillos se presentan en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Valores de las mediciones de la dureza superficial del relleno.

Zona de	Mediciones (Hv)					
medición	1	2	3	4	5	Media
Depósito	105	107	101	112	111	108

Como se puede observar, los resultados del análisis de dureza del metal base que se muestran en la Tabla 3.2, difieren de los resultados de la Tabla 3.4, siendo mayor la dureza del metal base que la del relleno, lo que debe estar dado particularmente por la composición química independiente del efecto que pueda existir del tamaño grano. Observando las tablas 3.1 y 3.3, puede constatar que el metal base posee un 2.00% de manganeso (Mn) y 0,97% de aluminio (Al), mientras que el relleno posee solo un 0.0440% y 0,0210 respectivamente de estos elementos aleantes, que como ya se ha expuesto, son los que le confieren mejores propiedades a la aleación.

La presencia del manganeso y el aluminio en el metal del sincronizador ejercen de primera instancia su influencia acentuando la presencia de la fase β en la microestructura y con ello la dureza de la aleación, siendo muy probable al mismo tiempo una menor plasticidad.

3.2.3 Resultados de los ensayos metalográficos

La Figura 3.2 muestra la microestructura del material ensayado en la EMI Cor. Francisco

Aguiar Rodríguez para la recuperación por relleno de los anillos cónicos del subconjunto sincrónico, que guarda gran similitud en todos los aspectos con la estructura de una aleación de latón bifásico “ $\alpha + \beta$ ”, sin elementos de aleación, presentado en la literatura [14].

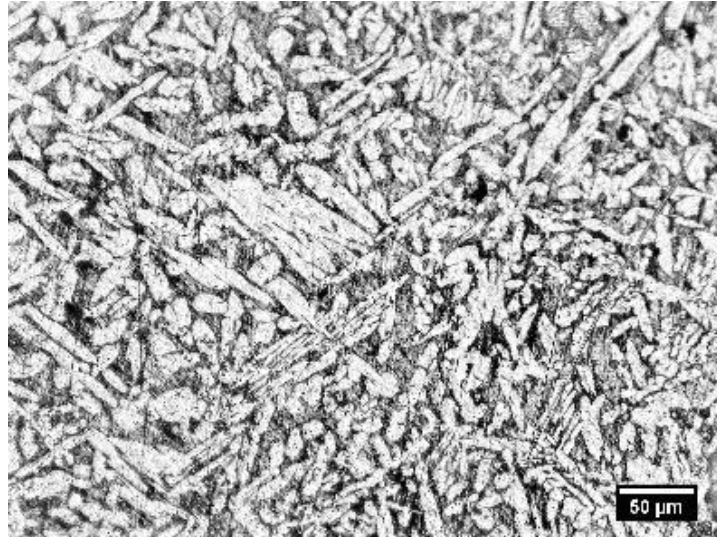


Figura 3.2 Microestructura del relleno 200x.

Si se analiza detenidamente la microestructura del material del sincronizador y del relleno se advierte una estructura ligeramente más dispersa en el metal del sincronizador, lo cual sin dudas puede ser motivado por la presencia de manganeso y aluminio como elementos de aleación y en correspondencia ser la causa de un mayor nivel de dureza de esta aleación.

Una microestructura más basta en el metal de relleno, la no presencia del aluminio, manganeso u otro elemento de aleación que influya en un incremento de la dureza y la resistencia al desgaste evidenciado en el bajo valor de la primera, muy inferior a los límites establecidos como requisito por el fabricante (>135 HB), infiere que esta aleación responderá con baja efectividad y durabilidad a las mismas condiciones de trabajo del anillo original. Lo anterior no pudiera afirmarse de forma absoluta si el relleno obtenido fuera a someterse a otras condiciones de trabajo, pues no debe obviarse que la resistencia al desgaste **no es una propiedad del material, sino una respuesta al sistema** [14], por ejemplo la presencia de un nuevo lubricante con aditivos especiales puede llevar a un comportamiento diferente de estas aleaciones y ser precisamente una estructura más basta favorable para el desempeño de la aleación en un par con acero. Sin embargo en el caso que se estudia tanto las piezas originales o nuevas, como las recuperadas estarán sometidas a las mismas condiciones de operación y de lubricación.

De lo anterior se puede definir que este material de aporte no debe ser utilizado y se hace necesaria la selección de otro comercial o desarrollar uno nuevo respondiendo a las nuevas políticas de sustitución de importaciones.

3.3 Resultados de la obtención de un nuevo material por fusión y vertido destinado al relleno de los anillos de los sincrónicos

El prolongado tiempo promedio de duración de 3 horas para la fusión en el horno es resultado de sus dimensiones 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 que alteraron el procedimiento como réplica.

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 °C) y su incidencia directamente sobre el metal, lo que hace el proceso más rápido y relativamente sencillo para la implementación en la empresa, aunque el efecto de oxidación pudiera ser mayor y más complejo su control.

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

3.4 Resultados de los ensayos realizados a las aleaciones fundidas

3.4.1 Resultados de los análisis de composición química a las aleaciones fundidas

En la Tabla 3.5 y 3.6, se muestran los resultados de los análisis químicos promedio del material obtenido mediante la fusión en horno y con llama oxiacetilénica y vertidos en molde respectivamente. Al comparar entre sí los resultados de los análisis químicos del material de los anillos fundidos, con la composición de la aleación original, tabla 3.1, obtenida por el mismo método descrito en el Capítulo II, se observa que en los dos procesos de fusión, tanto en horno como con llama, no se produjeron diferencias significativas.

Las pérdidas mayores se aprecian en el cobre, que fue el elemento que más se oxidó en ambos casos, lo que se tradujo en incrementos en % del Zn y la mayoría de los demás elementos, incluyendo el silicio que incrementó relativamente en la nueva aleación, no obstante, por la composición se mantienen ambos materiales obtenidos como una aleación de latón bifásico “ $\alpha + \beta$ ” de acuerdo con su ubicación correspondiente en el diagrama Cu-Zn.

Tabla 3.5 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
<i>Los valores son el promedio de cinco mediciones (chispazos).</i>						

Tabla 3.6 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
<i>Los valores son el promedio de cinco mediciones (chispazos).</i>						

El % de los principales elementos que determinan en las propiedades de la aleación del anillo sincrónico, particularmente en la resistencia al desgaste (Mn y Al), 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, al decrecer en la aleación en 0,3% con relación a la aleación original y para la fusión en horno hubo un incremento en valor absoluto en ese mismo por ciento. 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 el fenómeno de oxidación. El aparente incremento de Mn en el metal fundido al horno, se debe particularmente a las pérdidas de Cu que son de un 4% aproximadamente con

relación a la aleación original y duplican prácticamente 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. Además no se puede obviar que estos ensayos pueden tener hasta un 5 % de margen aceptable de error [44].

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 alteración de la interacción con el exterior, en la llama oxiacetilénica hay un efecto intenso del medio circundante, de la composición de la llama y su alta temperatura, a pesar de su regulación a neutra, y por el efecto ya señalado de las pérdidas del Cu.

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

3.4.2 Resultados de los ensayos de dureza realizada a las aleaciones fundidas

En la Tabla 3.7 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 3.7 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 sobre todo a los 135 Hv especificado como mínimo por el fabricante como requisito.

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 al 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.

3.4.3 Resultados de los ensayos de metalografía realizados a las aleaciones fundidas

En las Figuras 3.3 y 3.4, 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 [44]. Muestran uniformidad en cuanto a la distribución y tamaño de grano, así como, en la orientación cristalina.

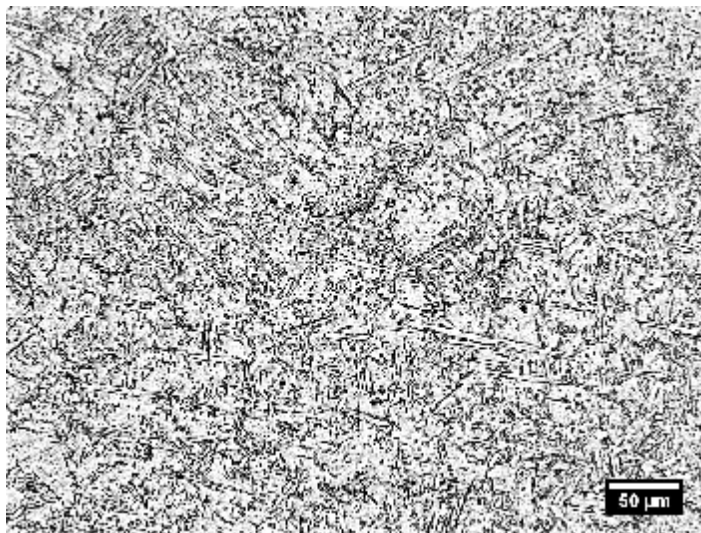


Figura 3.3. Estructura metalográfica típica del metal de latón obtenido por fusión en horno y vertido (200x)

Al compararse las estructuras de ambas 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.

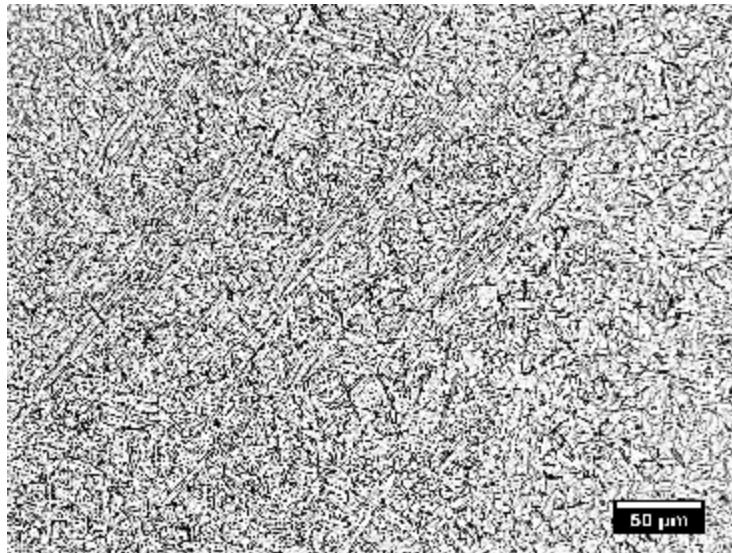


Figura 3.4 Estructura metalográfica típica del metal de latón obtenido por fusión con llama y vertido (200x)

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 [44] .

3.4.4 Resultados de los ensayos de resistencia al desgaste realizados a las aleaciones fundidas

En la tabla 3.9, 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.

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

El anillo de acero que representa la superficie del piñón en el par anillo – piñón, posee dureza superficial superior a los 60 HRC y tiene propiedades similares a las del piñón, por lo que está garantizada la misma compatibilidad que el par original y similares diferencias de dureza comportándose como un modelo Duro-Blando según clasificación en el campo de la tribología.

Tabla 3.9. 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)	Promedio (g)	Coefic kd
Fundida en Horno eléctrico	1	1	9.9509	9.9474	0.0035	0.00340	1,14
	3	3	9.3769	9.3736	0.0033		
Fundida con llama oxiacetilénica	1	4	10.0981	10.0959	0.0022	0.00330	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		

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 rellenada 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.

Es importante destacar que el componente estructural de la aleación influye notablemente en la resistencia al desgaste [4] y la estructura óptima para resistir determinadas condiciones de desgaste, se determina mediante la adecuada combinación estructural [45] dentro de un complejo de propiedades como son: Físico mecánicas, Físicas, y Fisicoquímicas, siendo extremadamente difícil congeniar todos al unísono, por lo que hay que decidir y determinar cuáles son las más influyentes para la propiedad predominante.

3.5 Tecnología para el relleno de los anillos desgastados de los sincrónicos

Aunque no se han realizado pruebas experimentales con la tecnología propuesta, para lograr el éxito, hay que realizar un trabajo técnicamente riguroso durante el proceso de soldadura, como se hizo durante el proceso de fusión, ensayo y caracterización de las aleaciones mediante probetas. Para ello se relacionan a continuación los **pasos tecnológicos y recomendaciones para el relleno** de los anillos de los sincrónicos.

1. Limpiar escrupulosamente todo el anillo con nafta y otros medios que eliminen residuos de hidrocarburos y aceites.
2. Observar si hay incrustaciones metálicas o de otra índole en la zona de relleno. En caso de que haya presencia de las mismas, eliminarlas por cualquier vía (lima, cepillo de alambre, cortafrio).
3. Elegir y preparar una cantidad mínima de anillos a recuperar para hacer más eficiente el proceso (no menos de 10 unidades).
4. El operario ha de tener todos los medios de protección requeridos y la calificación y habilidades [46] para el trabajo a realizar. Hay soldadores que trabajan bien la soldadura

eléctrica de aceros, pero no son competentes en la soldadura oxiacetilénica o en la de materiales no ferrosos.

5. Tener existencia suficiente de los gases industriales necesarios para el relleno de todas las piezas.
6. Cuando las condiciones el puesto de trabajo estén preparadas (incluyendo adecuada posición, ventilación e iluminación) comenzar a precalentar a temperatura controlada de 600 ° hasta 650 ° C, extrayendo del horno solo la pieza a procesar en ese momento, el resto mantener en horno apagado a esa temperatura.
7. Si el precalentamiento se hace con la antorcha de soldar, hacerlo con llama oxidante.
8. Utilizar un aditamento tipo perchero para colgar y fijar la pieza, así como tenaza para realizar el cambio de posición.
9. Al comenzar el relleno en un diente del anillo continuar con el opuesto, haciendo girar la pieza y luego girar 90 °, siguiendo nuevamente con el contrario a éste. Debe cerciorarse de que el relleno se ejecutó adecuadamente en toda la superficie del diente.
10. Por la características de la pieza, donde el relleno es en una superficie interior, no es posible recomendar realizar la soldadura en posición de izquierda o de derecha, porque resulta muy incómoda para el operario, por lo que solo es posible acercar la varilla a la zona de relleno desde la izquierda de la pieza y la antorcha por la derecha (para operarios zurdos a la inversa).
11. Para que el operario pueda determinar si el cordón tiene la dimensión adecuada, debe construirse una galga o vitola que le permita comprobar la medida del cordón.
12. Al comenzar el relleno, el operario debe utilizar llama neutra, para proteger los elementos de aleación que favorecen las propiedades del cordón, aún a costa de cierta pérdida de Zn.
13. El operario debe realizar el relleno en el tiempo más breve posible, basado en su experiencia personal, realizando movimientos en zig-zag, a la vez de vigilar la temperatura para que no fluctúe demasiado y pueda crear tensiones que provoquen deformaciones u otras consecuencias desfavorables en el proceso metalúrgico que está ocurriendo.
14. El operario debe utilizar una mecha n° 2, atendiendo que hay espesores pequeños en algunas zonas a rellenar.
15. Al concluir el proceso de soldadura, el operario debe dejar enfriar la pieza lentamente.
16. Cuando la pieza haya enfriado se debe observar el estado de la superficie de cada diente

rellenado, para detectar con lupa si existen poros, grietas, inclusiones u otros defectos, analizando las causas posibles de su aparición

17. Si hay existencia de piñones que acoplan con los anillos del sincrónico que presentan desgaste en la zona de contacto y han sido rechazados, pueden ser recuperados aplicando sobre medidas de relleno y maquinado, aunque esto requiere un análisis detallado de la tecnología principalmente en lo referente al piñón.
18. Utilizar durante el proceso de soldadura el fundente recomendado para soldaduras de este tipo.
19. Posterior a la elaboración mecánica para dar el dimensionamiento de los dientes, se debe observar el estado de la superficie de cada diente relleno, para detectar con lupa si existen poros, grietas, inclusiones u otros defectos. En caso positivo hay que corregir el defecto y analizar las causas posibles, llevando un registro de los defectos encontrados y sus causas probables.
20. Al menos durante un tiempo, es necesario registrar y controlar los equipos que se reparan con los sincrónicos reparados para conocer la efectividad real de la recuperación, notificándoselo al cliente para que coopere en el control de la vida útil de la pieza recuperada, lo que puede lograrse estableciendo un código para el marcaje de los anillos.

Estas recomendaciones no se han puesto en práctica, por lo que puede haber variaciones en algunas, en dependencia de los resultados obtenidos, para ir corrigiendo y perfeccionando la Tecnología.

3.6 Valoración económica

El método vigente en Cuba para calcular el efecto económico de un trabajo de racionalización o innovación está concebido en la Resolución 30 de 1984, contenida en la Ley n° 38 [47], pero no se utilizará porque para aplicar algunos de los cuatro casos es imprescindible que se haya ejecutado la propuesta. En este caso hay que considerar la cantidad de anillos recuperados con el método propuesto y hasta el momento solo se han hecho algunas pruebas de relleno, porque el aval de esta tecnología propuesta con material de aportación incluido está fundamentada en la variedad de ensayos que se hicieron en condiciones de simulación y sus resultados halagüeños.

Por tanto se parte de que con este trabajo, además de las importantísimas ventajas detalladas, primeramente en cuanto a la calidad del relleno, superior al de la EMI y al de cualquier

otro método utilizando diferente material de aportación al propuesto y en segundo lugar liberación casi total (se dice casi, porque es posible que cada cierto tiempo sea necesario realizar compras de conjuntos sincrónicos para restituir los anillos utilizados como material de aporte) del mercado, del que están excluidos los camiones ZIL 130 y 131 pertenecientes a la economía nacional porque no hay aseguramiento. Entonces se pueden considerar dos posibles ahorros natos:

1.- Comparando la compra de la pieza nueva con el proceso de relleno con material de aporte obtenido del mismo anillo defectuoso.

2.- Comparando el proceso de relleno con material de aporte obtenido del mismo anillo defectuoso, con otra tecnología de relleno utilizando varillas compradas.

En el primer caso se conoce que en la Comercializadora DIVEP de Villa Clara [5] no hay existencia de ninguno de los dos sincrónicos de camiones ZIL 130 y 131. El utilizado para la 2da y 3ra velocidad hace muchos meses que no hay existencia y el precio de venta es de \$66.77 en ambas monedas y el de 4ta y 5ta velocidad no hay datos, supuestamente porque no se ha vendido. Por el sistema de talleres de reparación de las FAR, si han entrado, pero sin estabilidad y los precios oscilan en el mismo entorno. Esto es indicativo que la compra del conjunto sincrónico nuevo no es viable para los camiones ZIL 130 y 131 de la economía nacional de la producción y los servicios y no es sistemático el suministro en las FAR, por lo que no tiene fundamento hacer comparaciones de gastos puesto que no hay piezas nuevas disponibles en el mercado y resulta casi obligatorio acometer la recuperación para resolver el problema.

En el segundo caso no se han encontrado suministradores de la varilla adecuada para esta recuperación y las que se han comercializado (no recomendadas para los anillos) no hay existencia hace más de un año.

No obstante para hacer comparaciones entre las diferentes variantes se procede en primera instancia a calcular el gasto incurrido en el proceso de relleno, siendo necesario determinar la magnitud del desgaste, ya que esto define la cantidad de material de aporte en las piezas a recargar y por tanto el costo de la recuperación. Por las mediciones y estadísticas de las piezas defectuosas se ha calculado que el máximo de desgaste posible no rebasa 1 mm en la altura del diente. A esto se le adiciona el sobre espesor para maquinado, que se puede aproximar a 1 mm, aunque en la práctica es ligeramente inferior.

El cálculo del costo total de la recuperación para un anillo de un conjunto sincrónico se puede determinar de la forma siguiente [48]:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{pp}} + C_{\text{dpm}} - R_r (\$) \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde C_{pp} son los costos de preparación de la superficie y complementarios y se calcula:

$$C_{\text{pp}} = C_{\text{ch}} + C_{\text{mp}} + C_s + C_{\text{ss}} + C_{\text{ce}} + C_{\text{gt}} + C_{\text{tt}} + G_d + G_{\text{mee}}, \dots\dots\dots(3.2)$$

Donde: C_{ch} - Valor de la pieza valorada a precio de chatarra.

C_{mp} - Valor de las materias primas u otros recursos empleados en la recuperación sin incluir las relacionadas con el proceso de deposición del metal (se incluyen además los materiales empleados en la inspección).

C_s - Salario básico de la fuerza de trabajo según los procesos tecnológicos utilizados en la recuperación sin incluir la deposición del metal (se incluye inspección, calificación).

C_{ss} - Seguridad social según el por ciento que esté determinado.

C_{ce} - Combustible y energía consumidos directamente en la recuperación sin incluir el proceso de deposición de metal no se incluye la energía y materiales empleados en tratamientos térmicos y precalentamientos.

C_{gt} - Gastos de transporte de materias primas o insumos en general empleados en todo el proceso de recuperación.

C_{tt} - Costo de tratamiento térmico (antes y después de la recuperación).

G_d - Gastos de dirección.

G_{MEE} - Mantenimiento y explotación de equipos.

C_{dpm} - Costos de deposición de material.

El costo de recuperación por el método utilizado por la EMI ($C_{\text{total 1}}$) o si se prefiere mejor el costo de un método tecnológicamente argumentado, comparado con el costo de la Tecnología y Materiales propuestos en este trabajo ($C_{\text{total 2}}$), evidencia que hay muchas categorías del costo que son comunes, con valores iguales o bastante similares en ambos casos por lo que pueden ser obviadas para la comparación de la valoración económica, ya que solo se tendrán en cuenta las diferencias en los gastos.

Ambos tipos de procesos de relleno pueden ser diferentes en el Costo de deposición del material (C_{dpm}), ya que los gastos de transporte los podemos considerar iguales porque se solapan con los gastos por este concepto con otros procesos de la producción de la instalación y el Valor de la pieza valorada a precio de chatarra (C_{ch}) es cero.

El valor que representa la venta de la chatarra de anillos defectuosos tampoco se tiene en cuenta en estos cálculos porque no es el objeto social de las instalaciones de reparación, por lo que no tiene importancia en los principales indicadores de la producción y los servicios. De esta forma se concluye que lo que decide verdaderamente en la diferencia de los costos en ambos métodos es el costo de deposición del metal, que se expresa:

$$C_{dpm} = C_{MA} + C_l + C_{EE} + C_{máq.c.} \dots\dots\dots(3.3)$$

Donde: C_{MA} - Costo de materiales de aporte y consumo.

C_l - Costos de labor.

C_{EE} - Costo de energía eléctrica.

$C_{máq.c.}$ - Costo de depreciación de equipos y complementarios (se considera igual en ambos métodos).

De todos estos los de mayor importancia están relacionados con el Costo del material de aportación que en ambos métodos difieren porque en un caso se compra a suministradores en Cuba que lo importan y en la tecnología propuesta se fabrica con los anillos defectuosos. Por tanto se necesita calcular los gastos incurridos en su fabricación para establecer diferencias. Así tenemos que:

a) Cálculo del material de aportación 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 cms, sin inducir con ello error apreciable alguno.

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

$V = a \cdot b \cdot h$, donde a es el ancho, b es el largo y h es la altura de la figura.

$V = 0.2 \cdot 1 \cdot 1.3 = 0.26$, donde V es el volumen en cm^3 del relleno en un diente incluyendo el sobreespesor para el maquinado.

$V_{total} = V \cdot 18 = 4.68$, donde V total es el volumen total en cm^3 a recargar en todos los dientes de un anillo.

$$P = V \cdot D = 46.8 \cdot 8.50 \dots\dots\dots(3.4)$$

Donde P es el peso en gramos del material de aporte para recuperar el anillo de un conjunto sincrónico y D la densidad en gramos / cm^3 , tomándose el máximo valor posible de una gama variada de Latones similares.

P = 39.78 g Cantidad de material de aporte depositado en los dientes recargados del anillo del conjunto sincrónico de 3^{ra} y 4^{ta} velocidad.

b) Cálculo de la cantidad de material de aporte obtenido con la fabricación de varillas fundidas de un anillo defectuoso.

$$P_v = d^2 \cdot \pi \cdot L / 4 = (0.5)^2 \cdot 3.1416 \cdot 25 / 4 = 47.724 \text{ gr.} \dots\dots\dots (3.5)$$

Donde P_v es el peso de una varilla, d el diámetro y L su longitud.

$P_v = 47.724 \text{ g}$ El peso de la varilla obtenida es de 47.724 gr., considerando un desperdicio del 5 % por salpicaduras y errores del proceso (demasiado sobre espesor por ejemplo), se pueden depositar en el cordón 39.640 gr. ya que los tramos pequeños pueden ser aprovechados.

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 $\text{peso efectivo de } 343.8 \text{ g}$.

Cantidad de varillas = (Peso de un anillo de sincrónico / Peso de una varilla) * 0.90.

$\text{Cantidad de varillas} = 8.24 \text{ unidades, se obtienen con un anillo del sincrónico}$

c) Cálculo de la cantidad de anillos de sincrónicos posibles de recuperar (C_s) con las varillas obtenidas con un anillo fundido, considerando un aprovechamiento del 95%:

$C_s = (\text{Cantidad de varillas} \cdot \text{Peso de una varilla} \cdot 0.95) / \text{Peso en g. del material de aporte para recuperar el anillo de un sincrónico}$

$$C_s = 8.24 \cdot 47.724 \cdot 0.95 / 39.780 = 8.21 \text{ unidades} \dots\dots\dots (3.6)$$

Es posible recuperar al menos 8.21 anillos de los sincrónicos, usando un anillo como material de aporte. Con esto es posible ensamblar no menos de 8 conjuntos sincrónicos reparados, ahorrándose:

d) Cálculo del gasto incurrido en la compra de conjuntos sincrónicos nuevos (G_c).

$$G_c = C_s \cdot \text{precio de venta} = 548.21 \text{ pesos} \dots\dots\dots (3.7)$$

e) Cálculo del gasto incurrido en la compra de varillas para relleno de anillos (C_{UTP}).

Aunque la varilla UTP 11 que comercializa Maquimport con precio de venta (no actualizado) de 16.16 CUC/Kg. que se ha comercializado en Villa Clara [49, 50] no es adecuada para esta recuperación de los anillos, como es la única que ha entrado en este mercado últimamente para soldaduras de material base latón (aunque no hay existencia hace más de un año), se toma como referencia por no tener datos reales de otra varilla, para determinar si hay diferencias en el gasto del material de aporte. Otras varillas como la RbCuZn-D recomendada en literatura publicada [27] para casos similares, no parecen aconsejables por tener una composición

química muy diferente[51, 52], además que no hay tampoco en las empresas suministradoras.

$$C_{UTP} = MA * \text{Precio venta} \dots\dots\dots(3.8)$$

Donde C_{UTP} es el Costo del material de aporte con la varilla UTP 11 y MA el material de aporte calculado para 8.21anillos.

$$C_{UTP} = 0.3438 * 16.16 = 5.56 \text{ pesos}$$

f) Cálculo del gasto incurrido en la fabricación de las varillas fundidas (Gf).

La fusión del anillo para fabricar las varillas, que puede ser con oxigás, horno eléctrico, de coque u otros con diferentes diseños y fuente energética. Para el caso de que se realice la fusión en horno eléctrico similar al mostrado en este trabajo se calcula:

$Gf = C_{EE} + C_d + C_s$, donde C_{EE} , es el costo de electricidad, C_d el gasto en la construcción de moldes y C_s el gasto en salario directo en la fabricación de las varillas.

El gasto de salario y en la construcción de moldes para acometer la fabricación de las varillas hay que prorratearlo entre las varillas fabricadas. Como solo se ha construido un molde y se han fabricado pequeñas cantidades de varillas para pruebas, no hay por tanto una distribución racional del gasto real, ni se pueden tomar los tiempos y diferentes conceptos de estas categorías de gastos para arribar a un valor lógico. No obstante, para tener un punto de partida para comparar, se calcula la electricidad consumida en la fundición de un anillo, partiendo de la temperatura ambiente, siendo:

$$C_{EE} = \text{Consumo electricidad} * \text{Tiempo de trabajo del Horno} * \text{precio del Kwh} \dots\dots\dots(3.9)$$

Consumo electricidad = $V * I = 220 * 3 = 660 \text{ w} = 0.66 \text{ Kw.}$, donde V, es el voltaje de la red; I, la intensidad de corriente que consume el horno.

$$C_{EE} = 0.66 * 3 * 0.43 = 0.85 \text{ pesos}$$

Para obtener 1 kg. de material de aporte se gasta 2.50 pesos en corriente eléctrica

Para obtener 1 kg de material de aporte hay que fundir aproximadamente 3 anillos.

Considerando el gasto de salario directo e indirecto en la fabricación de 1 kg de material de aporte como 8.33 pesos y tomando el 25 % del total de gastos como otros gastos indirectos, se tiene que el costo total para obtener 1 kg de material de aporte con los anillos desechados es de 11.48 pesos, muy inferior al precio de compra de otro (y único) que se ha ofertado en Maquimport Villa Clara (pero que no hay existencia hace más de un año en Villa Clara) y que no es adecuado para este tipo de relleno.

Como el precio del kw.h obedece en primera instancia al tipo de contrato de servicio de la

instalación en particular con la Empresa Eléctrica [53] (que determina los costos fijos y variables en dependencia del nivel y horario preferencial de consumo, máxima demanda contratada, factor de potencia, bonificaciones o penalizaciones, factor de conversión, pérdidas por transformación y otros), el resultado del gasto por este concepto difiere incluso en una misma instalación de un mes a otro, además de que pueden utilizarse otras fuentes energéticas y principalmente utilizar variantes que permitan mejorar la eficiencia del proceso de fusión, como puede ser utilizar varios moldes a la vez, menos tiempo de fusión u otros.

Es evidente que el método específico utilizado en la obtención del material de aporte con los anillos fundidos, no perseguía el propósito del ahorro en materiales auxiliares con respecto a otras variantes posibles a usar para mayor cantidad de metal fundido, como puede ser mayor cantidad de moldes y cazuelas con mayor volumen a fundir, utilización de fraguas o equipos que requieran menor tiempo de fusión, etc. Por tanto no se deben tomar como válidos los gastos calculados para calcular el verdadero efecto económico que pudiera lograrse si se manejan opciones razonables para un proceso seriado, aún a pequeña escala y no para pruebas de laboratorio, lo que reduciría varias veces los gastos por los diferentes conceptos.

3.7 Conclusiones parciales del Capítulo III

- 1.- El material de los anillos sincrónicos está constituido por una aleación Cu-Zn con inclusión de 2 % de Mn y 1 % de Al que le confieren propiedades de dureza y resistencia al desgaste superior a las aleaciones convencionales no aleadas, mientras que los resultados de la evaluación del material de aporte ensayado en la EMI arrojan una aleación Cu-Zn no aleada de grano grueso y con dureza de 108 Hv, muy inferior a la exigida por el fabricante, por lo que no satisface las exigencias para las condiciones de trabajo del par anillo-piñón del sincrónico.
- 2.- Las aleaciones obtenidas por fundición presentan resistencia al desgaste ligeramente superior que las de la aleación original, debido a que mantienen elevada la proporción de los elementos de aleación y dureza superior a la del material original.
- 8.- Analizar la factibilidad de aplicar tratamiento térmico a los anillos originales nuevos, buscando el efecto similar alcanzado en estos ensayos en cuanto a las características (estructura; dureza; presencia, tamaño y distribución de microconstituyentes de mayor dureza que la matriz principal) y propiedades mecánicas como la resistencia al desgaste principalmente, sin detrimento de otras.
- 4.- La valoración económica no solo se puede regir por el ahorro que representa no tener que comprar el material de aporte, que es una cifra apreciable por sí misma, hay que considerar como mucho más importante y no es cuantificable, que no se depende de mercado externo para recuperar los anillos de los sincrónicos, y que además no ofertan en Villa Clara los materiales de aporte adecuados para estas piezas.

CONCLUSIONES GENERALES

1. La falla típica de los anillos cónicos del sincrónico es el desgaste de las superficies de deslizamiento, que ocurre bajo un mecanismo adhesivo con la acción de altas presiones como fundamental y la incidencia en determinada magnitud de una abrasión muy ligera como mecanismo de desgaste secundario debido al efecto de contaminantes indeseados que se introducen con el aceite debido a la mala manipulación y almacenamiento del mismo y otras deficiencias atribuidas a los servicios técnicos.
2. Los anillos cónicos del subconjunto sincrónico se fabrican por estampado de una aleación de latón, que de acuerdo al análisis químico y la microestructura, y según la norma GOST 17711-72, se identifica como un latón complejo bifásico $\alpha + \beta$, que se corresponde con la marca ЖМЦА 57-2-1, con 2% Mn y 1% Al como elementos de aleación, que en su conjunto mejoran las propiedades de la aleación base a las necesarias para las condiciones de trabajo de la pieza, elevando entre otras, la resistencia al desgaste y la dureza superficial a 157 Hv (aproximadamente 50 Hv más con respecto a la aleación no aleada de relleno ensayada por la EMI)
3. De acuerdo con el estudio de las propiedades en cuanto a composición química, microestructura y dureza del material, propuesto y ensayado en la EMI Cor. Francisco Aguiar Rodríguez, para el relleno de los anillos de los sincronizadores, este se identifica como una aleación de latón de tipo bifásico $\alpha + \beta$, con una dureza superficial promedio de 108 Hv, muy por debajo al de la aleación base y sin la presencia de elementos de aleación que puedan influir en sus propiedades de resistencia mecánica y desgaste, todo lo cual permite predecir que la vida útil del relleno será muy inferior a la de la pieza original.
4. Los dispositivos diseñados, contruidos y utilizados satisfactoriamente para los ensayos de desgaste y el método utilizado, se corresponden 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 de los sincrónicos.
5. Con los dos métodos de fusión, en horno eléctrico y llama oxiacetilénica, utilizados para la obtención del nuevo material de aporte, se obtiene una aleación con 52.07 % de Cu, 42.30 % de Zn, 2.31 % de Mn y 1.064 % de Al entre otros, que garantizan 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%, con relación al metal de los anillos originales.

6. 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 moldes metálicos, de tres anillos de sincrónicos desechados.

RECOMENDACIONES

Introducir en la Empresa Militar Industrial de Sancti Spiritus el proceso de fabricación de las varillas como material de aporte para el relleno de los anillos del sincrónico de los camiones ZIL 130 y 131.

Tomar en cuenta los pasos tecnológicos y recomendaciones expuestas en el Capítulo III en el desarrollo de la Tecnología para el relleno de los anillos desgastados de los sincrónicos.

REFERENCIA

1. Castro R., Intervención en la reunión del Consejo de Ministros. 2011: p. 1-2.
2. Burgos J.: Soldadura de Mantenimiento ¿Reparar o Recuperar? 1998.
3. Colectivo de Autores.: VI Congreso PCC, Lineamientos de la política Económica y Social del Partido y la revolución. 2011.
4. Herrera A., Evaluación de depósitos de recargue de una pasada obtenidos con electrodos tubulares UCLV. 2007.
5. Salomé M. Técnica en Gestión Comercial, DIVEP. junio 2011.
6. MackAldener, M., Tooth Interior Fatigue Fracture & Robustness of Gears. 2001.
7. Anónimo: Mecánica virtual Wikipedia., Las Cajas de Cambios Manuales. <http://html.rincondelvago.com/las-cajas-de-cambios-manuales.html>, 24 de marzo 2011.
8. Colectivo de autores ICM, Catálogo del camión ZIL 1973.
9. Wikipedia, Sincronizadores. la enciclopedia Libre, 24 de marzo 2011.
10. Guliaev A., Metalografía Tomo 1. 1978.
11. Piña J, Desgaste en engranajes causado por aceites contaminados. Alianza estratégica SERVIC Ltda. con emp Argentina ESTUDIO PIÑA. 2002.
12. Axén N. y otros., Modern Tribology Handbook Cap 13. 2001.
13. Dobrovolski V. y otros, Elementos de Máquina. 1970.
14. Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS), Recuperación de piezas afectadas por desgaste Cap 3. 2004.
15. Anónimo Wikipedia, Desgaste. Febrero, 2011.
16. Kato K.y otros, Wear Mechanisms. 2001.
17. Anónimo CIS UCLV, Inspección basada en riesgo en calderas y recipientes a presión. 2005.
18. Herrera, A. Administración del Mantenimiento. Monografía. Ed. UPONIC. Managua. 2005.
19. Casado M., P.O., Basterra A., Acuña L., Técnicas de ensayos no destructivos CIDEMCO. 2005.
20. Anónimo Centro de Investigaciones de Soldadura UCLV, Control de la calidad y métodos de evaluación de Uniones soldadas. 2005.
21. Herrera A., Recuperación de Piezas, 1998 UPONIC. 1998.
22. Colectivo de autores, Tribología: Fricción desgaste y lubricación Cap 4. 2002.
23. Colectivo de autores, Handbook de Tribología . Desgaste de los cuerpos sólidos, Cap 4. 2001.

24. Marty, J. R., Temas avanzados de Conformación de Metales. 2005.
25. Albarracín P., Impacto del desgaste sobre los mecanismos lubricados. Publicación mensual para todos los países de habla hispana 2005. **No 04, Vol. 04**
26. Glizmanenko D., Soldadura y corte a gas. 1965.
27. Colectivo de autores SIME, Recuperación de piezas por métodos de soldadura. Impreso, 1996.
28. Burgos J., Tecnología de Soldadura. 1989.
29. colectivo de Autores The American Society and Mechanical Engineering ASME, Norma de calificación para procedimientos de soldar. 1998.
30. Losada C.y otros, Tribología y Lubricación en ensayo de banco. Revista Científica de la Universidad del Estado de México, Mayo de 2001. **Nº 2.**
31. 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.
32. Cruz A.y otros, Ingeniería de los Materiales, Tema IV. Materiales no Ferrosos. 2003.
33. Anónimo sitio <http://www.obtesol.es/index.>, Aleaciones base Cobre. consultado en marzo 2011.
34. Anónimo sitio <http://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>, Cobre. consultado en marzo 2011.
35. Callister W., Materials Science and Engineering an Introduction Fifth Edition. 2000.
36. Guliaev A., Metalografía Tomo 2. 1978.
37. Smith W. y otros, Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 2004.
38. Shackelford J. y otros, Materials science and engineering handbook. 2001. **3ra Ed.**
39. Seferian D. y otros, Las soldaduras. 1979.
40. Weman K., Welding processes handbook. 2003.
41. Askeland D. , Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 1998.
42. Kou S., Welding Metallurgy. 2003. **2da Edición.**
43. Herrera A, Sistema Alambre – Fundente para la recuperación de árboles cigueñales y otras piezas tipo eje mediante soldadura por arco sumergido. 2006.
44. Pino L., Comunicación personal. 2011.
45. Herrera A., Recuperación de piezas por soldadura y otros métodos Monografía. Digital. Ed. UPONIC. 2005.
46. Colectivo de Autores Norma ASME, Guidebook to ASME, Section IX Welding Qualifications. 2001.
47. Colectivo de autores Asamblea Nacional del Poder Popular, Ley nº 38 de Innovadores y Racionalizadores. 1982.
48. Moya J. y otros, Manual sobre diseño, fabricación, explotación y recuperación de elementos de molinos de caña de azúcar 2003(ISBN 959-250-092-4. 2003).

- 49. L. Sarduy Maquimport V.C., Comunicación personal. 2011.
- 50. Colectivo de Autores Eutectic Castolín, Catálogo de productos. 2008.
- 51. Colectivo de Autores, AWS SFA 5.8, Specification for filler metals for brazing and brazing welding. 2002.
- 52. Colectivo de autores, ASME Specification for fluxes for brazing and braze welding. 2002.
- 53. Colectivo de Autores Ministerio de la Industria Básica Unión Eléctrica, Manual de Procedimientos de Planificación Estratégica UE JG0203. 2011.

ANEXO 1

La caja de cambios está constituida [7] por una serie de ruedas dentadas dispuestas en tres árboles:

Árbol primario. Recibe el movimiento a la misma velocidad de giro que el motor. Habitualmente lleva un único piñón conductor en las cajas longitudinales para tracción trasera o delantera. En las transversales lleva varios piñones conductores. Gira en el mismo sentido que el motor.

Árbol intermedio o intermediario. Es el árbol opuesto. Consta de un piñón corona conducido que engrana con el árbol primario, y de varios piñones (habitualmente tallados en el mismo árbol) que pueden engranar con el árbol secundario en función de la marcha seleccionada. Gira en sentido opuesto al motor. En las cajas transversales este eje no existe. En las cajas de cambios manuales, de izquierda a derecha consta de las siguientes partes: nervado para la corona de engrane con el primario, apoyo de rodamiento, transmisión por engranes, apoyo de rodamiento. El dentado recto corresponde a la marcha atrás.

Árbol secundario. Consta de varios engranajes conducidos que están montados sueltos en el árbol, pero que se pueden hacer solidarios con el mismo mediante un sistema de engranes desplazables. Gira en el mismo sentido que el motor (cambios longitudinales), y en sentido inverso en las cajas transversales. En otros tipos de cambio, especialmente motocicletas y automóviles y camiones antiguos, los piñones se desplazan enteros sobre el eje. La posición axial de cada rueda es controlada por unas horquillas accionadas desde la palanca de cambios y determina qué pareja de piñones engranan entre el secundario y el intermediario, o entre primario y secundario según sea cambio longitudinal o transversal. Cuando se utilizan sincronizadores, el acoplamiento tangencial puede liberarse en función de la posición axial de estos y las ruedas dentadas no tienen libertad de movimiento axial. En las cajas transversales, la reducción o desmultiplicación final eje secundario/corona del diferencial invierte de nuevo el giro, con lo que la corona gira en el mismo sentido que el motor.

Eje de marcha atrás. Lleva un piñón que se interpone entre los árboles intermediario y secundario (longitudinal) o primario y secundario (transversal) para invertir el sentido de giro habitual del árbol secundario. En el engranaje de marcha atrás, normalmente se utiliza un dentado recto, en lugar de un dentado helicoidal, más sencillo de fabricar. Todos los árboles se apoyan, por medio de cojinetes, axiales, en la carcasa de la caja de cambios, que suele ser de fundición gris, (ya en desuso) aluminio o magnesio y sirve de alojamiento a los engranajes, dispositivos de

accionamiento y en algunos casos el diferencial, así como de recipiente para el aceite de engrase.

En varios vehículos como algunos camiones, vehículos agrícolas o automóvil todoterreno, se dispone de dos cajas de cambios acopladas en serie, mayoritariamente mediante un embrague intermedio. En la primera caja de cambios se disponen pocas relaciones de cambio hacia delante, normalmente 2, (directa y reductora); y una marcha hacia atrás, utilizando el eje de marcha atrás para invertir el sentido de rotación.

La lubricación puede realizarse mediante uno de los siguientes sistemas:

- Por barboteo.
- Mixto.
- A presión.
- A presión total.
- Por cárter seco.

Existen varios tipos de cajas de cambios y diversas maneras de clasificarlas. Hasta el momento en que no se habían desarrollado sistemas de control electrónico la distinción era mucho más sencilla e intuitiva ya que describía su construcción y funcionamiento.

En tanto que se han desarrollado sistemas de control electrónico para cajas se da la paradoja que existen cajas manuales con posibilidad de accionamiento automatizado (por ejemplo Alfa Romeo) y cajas automáticas con posibilidad de intervención manual. La clasificación en función de su accionamiento es una de las clasificaciones aceptadas por mayor número de autores: Manuales, mecánicas o sincrónicas. Solo haremos una breve referencia a las mecánicas que son las que tienen relación con este trabajo.

Tradicionalmente se denominan cajas mecánicas a aquellas que se componen de elementos estructurales y funcionales, rodamientos, y otros de tipo mecánico. En este tipo de cajas de cambio, la selección de las diferentes velocidades se realiza mediante mando mecánico, aunque puede estar automatizado.

Los elementos sometidos a rozamiento ejes, engranajes, sincronizadores o selectores están lubricados mediante baño de aceite (específico para engranajes) en el cárter, aislados del exterior mediante juntas que garantizan la estanqueidad.

Los acoplamientos en el interior se realizan mediante mecanismos compuestos de balancines y ejes guiados por cojinetes. El accionamiento de los mecanismos internos desde el exterior de la caja se realiza mediante cables flexibles no alargables o varillas rígidas.

ANEXO 2

Datos de los piñones para la velocidad seleccionada				
Parámetro	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta
Posición del dentado	1ra corona (izquierda)	2da corona (derecha)	1ra corona (izquierda)	2da corona (derecha)
Número de dientes.	23	24	18	18
Longitud del diente (nominal) mm.	7.7	7.7	7.7	7.7
Espesor total del diente	6.020	3.990	4.57	7.45
Espesor reducido del diente	5.420	3.390	3.97	6.85
Anchura de la cavidad de la estría del carro del sincronizador	9.00-9.06		11.00-11.05	
Diámetro de los orificios del carro para el fiador	14.00-14.07		14.00-14.07	
Anillo cónico				
Diámetro del reborde descentrado para el fiador	14.80-14.92 mm (nominal)			
Diámetro del orificio del carro para el fiador	9.00-9.03 mm (nominal)			
Material	Latón IIMUKA 58-2-1-1			
Dureza en HB	no menor de 130.			
Mecanismo de desgaste principal	Adhesivo, con altas presiones y ligeros impactos entre las superficies de deslizamiento del par tribológico anillo-engrane debido a: montaje incorrecto; fallas en rodamientos, eje, cuerpo de la caja; lubricante incorrecto.			
Mecanismo de desgaste secundario	Abrasivo ligero, dado por el efecto de contaminantes indeseables tales como: partículas provenientes del propio desgaste o externas como el polvo) que se mezclan con el aceite debido a la mala manipulación, deficiente almacenamiento, mantenimiento incorrecto.			

ANEXO 3

Soluciones sólidas representadas en el diagrama de estado.

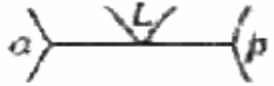
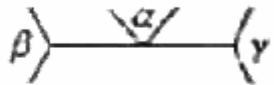
1) Solución sólida “ α ” de 39 % de solubilidad del zinc en cobre a temperatura ambiente y casi no varía hasta 454 ° C, comenzando a disminuir al subir la temperatura hasta el 32 % a 900 °C.

2) Solución sólida “ β ” a base del compuesto Cu Zn, con red cristalina cúbica centrada en el cuerpo y distribución ordenada de los átomos a temperatura inferior a la línea 454- 468 °C. A mayor temperatura, los átomos de Cu y Zn se distribuyen de un modo estadístico y la solución sólida de esta fase a esas condiciones se designa “ β' ”.

3) Soluciones sólidas “ γ ” compuesta por Cu₅Zn₈ con red cristalina cúbica compleja y distribución ordenada a 270 °c y solución sólida “ ϵ ” compuesta por CuZn₃ con red cristalina hexagonal compacta.

4) También coexisten en el diagrama de estado las soluciones sólidas, “ η ” y “ δ ” que por su poca importancia práctica debido a la fragilidad que poseen y las bajas propiedades mecánicas en general no están incluidas en esta caracterización de los latones.

ANEXO 4

<u>Nombre de la Reacción</u>	<u>Ecuación</u>	<u>Característica del diagrama de fase</u>
Eutética	$L \xrightarrow{\text{Enfriamiento}} \alpha + \beta$	
Eutectoide	$\alpha \xrightarrow{\text{Enfriamiento}} \beta + \gamma$	
Peritética	$\alpha + L \xrightarrow{\text{Enfriamiento}} \beta$	
Peritectoide	$\alpha + \beta \xrightarrow{\text{Enfriamiento}} \gamma$	
Monotética	$L_1 \xrightarrow{\text{Enfriamiento}} \alpha + L_2$	

Fuente: Metallography, Structures and Diagrams, 8va ed., American Society for Metal, 1973.

Tipos de reacciones invariantes de tres fases que se presentan en los diagramas binarios

En el diagrama de estado de la aleación Cu-Zn tenemos las fases sólidas intermedias, “β”, “γ”, “δ”, y las fases finales “α” y “ε” que cada una mezclada con la aleación en estado líquido forman cinco reacciones peritéticas con una nueva fase sólida al concluir el enfriamiento, que son: L + “α”, L + “β”, L + “γ”, L+“δ”+ L+ “ε”, y la reacción eutectoide que partiendo de una solución sólida forma dos nuevas fases sólidas.