



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

PROPIEDADES AL DESGASTE DE UNA
ALEACION ELECTROLITICA Pb-Cd



EXAMEN PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A :

CARLOS ROSENDO ARGANIS JUAREZ



TESIS CON
FALTA DE ORACION

MEXICO, D.F.

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	página.
Indice	3
I. Introducción.	6
II. REVISION BIBLIOGRAFICA.	
II. 1. Desgaste.	8
II.1.1. Fracturas tribológicas y Mecanismos de Desgaste.	9
II.1.2. Tipos de Desgaste.	13
II.1.3. Desgaste Adhesivo.	14
II.1.4. Desgaste Abrasivo.	15
II.1.5. Desgaste por Fatiga.	17
II.1.6. Desgaste Erosivo.	18
II.1.7. Desgaste Vibracional.	18
II.2. Pruebas de Desgaste.	
II.2.1. Máquinas de Desgaste.	19
II.2.2. La Curva de Desgaste.	21
II.2.3. Curvas Factor de Desgaste-Carga.	22
II.3. Aleaciones Antifricción.	23
II.4. Aleaciones Electrolíticas.	27
II.4.2. Electroquímica	29
III. METODO EXPERIMENTAL.	
III.1. Hipótesis	35
II.2. Método Experimental	35
III.3. Detalle de las Técnicas y Materiales	37

	Página
IV. RESULTADOS	
IV.1.1. Parámetros de Desgaste	39
IV.1.2. Condiciones de Depósito.	39
IV.1.2.1. Efecto de la Densidad de corriente en la aparición del Depósito.	39
IV.1.2.2 Efecto del Tiempo de Depósito en la Composición química de la Aleación Electrolítica.	40
IV.2. Desgaste	
IV.2.1. Efecto de la Densidad de Corriente en el El desgaste de la Aleación Electrolítica.	42
IV.2.2. Influencia del tiempo de Depósito en la Distancia Máxima recorrida.	44
IV.2.3. Efecto de la Carga en el Desgaste.	44
IV.2.4. Efecto de los tratamientos térmicos en el Desgaste de la Aleación Térmica Pb-Cd.	45
IV.2.5. Efecto de los tratamientos térmicos en la Aleación Electrolítica Pb-Cd.	45
IV.2.6. Efecto de la Carga de la Aleación Electrolítica Pb-Cd.	46
IV.2.7. Carga de Transición.	47
IV.2.8. Efecto en la Microdureza	47
Tablas de Resultados y Secuencias Fotográficas	50
V. DISCUSION.	
V.1. Tratamientos Térmicos.	78
V.1.1. Efecto en la Aleación Térmica	78

V.1.2. Efecto en las Aleaciones Electrolíticas	79
V.2.1. Regimenes de Desgaste.	82
V.2.2. Regimen de Desgaste no Severo	85
V.2.3. Desgaste Severo	87
VI. CONCLUSIONES.	89
VII. BIBLIOGRAFIA	90

INTRODUCCION.

El hombre a lo largo de la historia ha utilizado mucho mas los metales como aleaciones que en su forma pura. Cuando se requieren algunas propiedades como alta conductividad eléctrica, alta ductibilidad, o buena resistencia a la corrosión, se utilizan los metales puros, ya que en estos estas propiedades alcanzan su valor máximo. Para propiedades como la resistencia a la tensión, el punto de cedencia, dureza, resistencia al desgaste, resistencia a la fatiga, son superiores las aleaciones, ya que sus propiedades varían en un rango mas amplio. Por lo tanto el estudio de las propiedades mecánicas de las aleaciones tiene una gran importancia tecnológica.⁽¹⁾

Entre los grupos de aleaciones mas comúnmente usadas, están: aleaciones Fe-C (aceros y fundiciones), aleaciones base cobre (bronces y latones), aleaciones base Al, aleaciones bases Pb, aleaciones base Sn, aleaciones base Zn, aleaciones base Ni, etc. Existen muchísimos grupos, y dentro de cada grupo, múltiples aleaciones para diversos usos y enumerarlas es prácticamente imposible. Existen verdaderos tratados, y cada día se prueban nuevas aleaciones.

Un grupo muy importante de aleaciones son las aleaciones llamadas "antifricción" debido a su uso frecuente en todo tipo de máquinas. Las aleaciones antifricción consisten en cristales o

fases duras embebidas en una matriz suave. Las fases duras reciben la carga y resisten la abrasión, mientras que la matriz proporciona la plasticidad adecuada. Generalmente estas aleaciones son aplicadas por inmersión en baños fundidos de estas. Sin embargo se pueden aplicar por electrodeposición, que tiene la ventaja de ser un proceso en frío que no afecta térmicamente a la pieza recubierta. Además por medio de la electrodeposición se obtienen estructuras diferentes a las obtenidas al preparar una aleación por vía térmica. (18).

Existe hoy una tendencia a abatir los costos de las aleaciones, sustituyendo los elementos aleantes costosos, por elementos más comunes, pero que puedan cumplir los requerimientos exigidos. El cadmio es un elemento que se obtiene como un subproducto del zinc electrolítico y del zinc obtenido por retortas, se puede obtener también de las fundiciones del cobre y de la destilación del plomo. En su estado natural se encuentra como greenoquita (CdS), y está asociado en pequeñas proporciones con la esfalerita (ZnS). El cadmio se ha utilizado con éxito en aleaciones antifricción $Ag-Cd$, y el plomo es uno de los principales componentes de las aleaciones antifricción. Es por esto que surge la necesidad de probar una aleación antifricción compuesta por estos dos elementos, obtenida electrolíticamente, con el fin de sustituir las aleaciones antifricción que contienen Sn y Sb .

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

Con el fin de introducir a la terminología y ha algunos conceptos básicos utilizados en desgaste, se presentan el siguiente resumen, que consiste en la definición del fenómeno de desgaste, los principales mecanismos que intervienen en este, los tipos de desgaste mas comunes, máquinas y pruebas de desgaste, así como las curvas y resultados esperados. Posteriormente se presentan las aleaciones antifricción mas comunes, así como sus propiedades y usos, y por último se presentan las aleaciones electrolíticas, sus características y las propiedades que presentan, así como algunas ventajas del proceso de depositación electrolítica.

II.1 Desgaste.

Un sistema tribológico esta formado por dos o más cuerpos en contacto superficial mecánico o estático, y se gestan una vasta clase de fenómenos. La tribología estudia entre otras cosas, la adhesión, fricción, desgaste y lubricación de sólidos en contacto. Según Vingsbo (3) las diversas definiciones de desgaste encontradas en la literatura no son muy adecuadas, debido a que no abarcan toda la complejidad de este fenómeno. Una definición más completa de desgaste es: "La remoción de material

a partir de las superficies de un sistema tribológico", lo cual implica superficies en movimiento relativo bajo mecanismos de contacto. Otros fenómenos como la deformación, reacciones químicas, o fenómenos cíclicos son sólo casos particulares de determinados sistemas tribológicos.

Desgaste es el nombre genérico de una serie de eventos, por los cuales la pérdida de material tiene lugar. Por lo tanto el desgaste en un tribosistema o sistema tribológico puede ser el resultado de un gran número de eventos con un número casi infinito de combinaciones. Existen muchos procesos y las interacciones de uno y otros es compleja (4), como lo muestra el esquema de la fig. 1.

El desgaste sigue una relación simple, llamada relación de Archard (8) que se expresa como:

$$W = V = K \frac{P}{S} \frac{L}{H} \quad (1)$$

donde W es el factor de desgaste, V el volumen perdido, P es la presión o carga aplicada, S la distancia recorrida, H la dureza de indentación y K es una constante que dependerá del material y de las condiciones de la prueba. Esta constante, según el mecanismo de desgaste de que se trate, toma diferentes valores y significados. Se puede calcular, al realizar la prueba de desgaste, al tomar la dureza de el material, ya que todos los

terminos que involucra la relación son conocidos.

II.1.1 Fracturas Tribológicas y Mecanismos de Desgaste.

Las superficies de los sólidos no son planas, sino que muestran irregularidades o asperezas (como comúnmente son llamadas). Sólo los materiales frágiles que presentan clivajes a lo largo de planos cristalinos o los monocristales presentan superficies regulares y planas.

Cuando dos sólidos entran en contacto, este ocurre sólo en las asperezas. Bajo una carga aplicada, dependiendo del material, puede ocurrir deformación, primero elástica y luego plástica en estas asperezas. La deformación continuará hasta que el área de contacto real sea suficiente para soportar la carga. En este punto la deformación cesa. Las áreas de contacto pueden formar uniones de acuerdo con la teoría de la adhesión. Los contactos atómicos con o sin contaminantes de la superficie admiten fuerzas de cohesión para crear uniones entre las partes del tribosistema. En movimiento deslizante, las uniones son continuamente deformadas, plásticamente cortadas y fracturadas, produciendo el desprendimiento de material y consecuentemente el desgaste, como esquemáticamente se describe en la fig. 2. Este

es el fenómeno básico de fricción y el componente de fuerzas que actúa en la dirección del deslizamiento es la fuerza de fricción. Podemos observar que puede haber intercambio de material entre uno y otro de los componentes del sistema tribológico. Este es el mecanismo de Adhesión presente en el desgaste.

Otro de los mecanismos que producen fracturas y pérdida de material es el microcorte. Si una aspereza dura o partículas se deslizan sobre la superficie de un material blando, bajo condiciones tribológicas particulares (alta carga, distintos ángulos de corte de las partículas o alta dureza, etc.) actúa como una microherramienta de corte. Este mecanismo remueve material de la superficie por la formación de rebabas, fragmentos, etc. La profundidad y tamaño del surco, depende del tamaño del elemento cortante.

Otra de los mecanismos que actúan en el desgaste es el impacto. Las condiciones normales de impacto (cero esfuerzos paralelos) es establecida en la superficie mecánica en contacto bajo condiciones de percusión, con un ángulo de incidencia, el cual tiende a ser normal. Si la energía transferida a la superficie no puede ser disipada como calor o deformación plástica, la superficie se relaja formando fracturas por impacto. Esto requiere una alta densidad de energía y condiciones típicas de alta tensión durante una muy corta duración y un gran

ángulo de incidencia. La fractura por impacto es el resultado de una percusión aislada y es más fácil de producir en un material frágil que en uno dúctil.

Durante movimientos cíclicos la superficie de un tribosistema puede estar sujeta a fenómenos de fatiga. Las fluctuaciones de carga pueden iniciar la sucesiva nucleación y crecimiento de fracturas por fatiga y la falla por fatiga resultante, representa otro de los mecanismos de las fracturas tribológicas.

Numerosas clases de fenómenos físicos y químicos interactúan con las fracturas tribológicas. Parte del trabajo de fricción es disipado generalmente como calor y el incremento de temperatura en pequeñas áreas de contacto pueda ser muy alto dando lugar; a otros fenómenos como la soldadura, y en general a desviaciones a lo esperado en el comportamiento a temperatura ambiente.

Una combinación de alta concentración de deformación y alta temperatura activa una serie de cambios en la capa debajo de la superficie de contacto. Estos fenómenos internos que se pueden presentar son: deformación plástica, cambios estructurales como

cambios de fase en los metales, y cambios de composición química.

Además existen fenómenos externos, dependiendo de la interacción con la atmósfera que rodea al sistema tribológico, resultando la formación de una capa superficial, que se puede deber a: A) Reacciones Químicas; en el aire las superficies limpias, son cubiertas con una capa de óxido o por componentes de corrosión. B) Adsorción; las moléculas de gases, predominantemente vapor de agua, se unen a la superficie del metal por adsorción y forman una segunda capa sobre la capa anterior. Estas capas evitan la formación de uniones minimizando el desgaste en sistemas aparentemente no lubricados.

La pérdida de los gases absorbidos si hay un sobrecalentamiento, y la ruptura de la capa de óxido si el esfuerzo normal es alto, exponen al metal incrementándose el desgaste.

II.1.2 Tipos de Desgaste.

Uno de los aspectos presentes en el desgaste es el movimiento relativo entre los componentes. Este puede ser unidireccional, en dos direcciones, deslizante o rodante. Puede haber una combinación de rodamiento y deslizamiento o movimientos oscilatorios. Un metal puede interaccionar con un no

metal o líquidos tales como aceite lubricante o agua marina. Dependiendo de la naturaleza del medio envolvente en una interacción bajo carga, el desgaste puede ser clasificado de la siguiente manera.

II.1.3 Desgaste Adhesivo.

En este, el movimiento relativo puede ser unidireccional o en dos direcciones y deslizante, o la interacción ocurre bajo pequeñas amplitudes de carga. Se caracteriza por la formación y fractura de uniones adhesivas. Ver fig. (2). Eventualmente fracturas por fatiga nuclearán y se propagarán desprendiéndose fragmentos los cuales causan una pérdida neta de el material. También se puede dar el proceso de adhesión y transferencia de material el cual se puede repetir en ambas direcciones para que finalmente ocurra la pérdida por fragmentos. Dependiendo de la geometría el mecanismo de adhesión produce protuberancias en la superficie sometida a desgaste, formadas por el material transferido de una superficie a otra.

El desgaste adhesivo se puede expresar como:

$$V = ZAS \quad (2)$$

Donde Z es el número de átomos removido por encuentro, A es

el area total, V el volumen removido y S es la distancia recorrida. Pero esa area total se relaciona con la carga como sigue:

$$A = P / \quad (3)$$

Donde P es la carga y la tensión de fluencia del material blando. Sustituyendo en (2) obtenemos:

$$\frac{V}{S} = Z P \quad (4)$$

Que tiene la forma de la relación de Archard. Ahora bien utilizando la relación de la Tensión de fluencia y la dureza.

$$H = 3 \quad (5)$$

Llegamos finalmente a la relación de Archard, solo que en este caso la constante tiene que ver con el número de átomos removidos por encuentro.(2)

$$\frac{V}{S} = \frac{3Z}{H} P \quad (6)$$

II.1.4. Desgaste Abrasivo.

El desgaste abrasivo se caracteriza por la formación de surcos. Estas interacciones se llevan a cabo por microcorte, con deformación plástica, al ser rasgada la superficie por un elemento abrasivo duro. La deformación plástica se refleja en la formación de una cresta al mismo tiempo que el fragmento corta la superficie. Las partículas abrasivas pueden provenir de material

desprendido, de polvo de los alrededores, o de partículas de impurezas que quedan atrapadas en la interfase deslizante y remueven gran cantidad de material. En otros casos se utiliza este tipo de desgaste, para la evaluación de abrasivos en forma sistematizada, en un proceso estandarizado. (ASTM G56-82).

El desgaste abrasivo sigue también una relación como las anteriores, solo que la constante es considerada como un coeficiente de desgaste bajo una situación abrasiva entre dos cuerpos y toma valores de acuerdo a la geometría de la partícula que incide la superficie. (2).

$$\frac{V}{S} = \frac{P}{H} \quad (7)$$

Donde toma el valor de $0.63 \tan O$ para una aspereza cónica y O es el ángulo que forma la base de la partícula cónica con la superficie de el metal blando. (2).

Para calcular la resistencia al desgaste abrasivo de un material sometido a investigación se puede usar la siguiente relación:

$$\frac{R1}{R2} = \frac{A H}{P} \quad (8)$$

Donde $R1$ es la resistencia al desgaste de un material usado como referencia, $R2$ es la resistencia del material bajo investigación, A es una constante, P es la presión aparente de contacto y H la dureza del material bajo investigación.

II.1.5 Desgaste por Fatiga.

Los fenómenos de fatiga son generalmente importantes en todos los tipos de desgaste. Las tribofracturas son un fenómeno interactivo que son promovidas por efectos acumulativos durante fluctuaciones cíclicas de carga. Es común que el material removido sea predominantemente producido por fracturas de tipo fatiga en los sistemas tribológicos. El más típico sistema tribológico de fatiga es dado en contacto rodante como por ejemplo los cojinetes. En estos los efectos de abrasión e impacto son reducidos. El desgaste adhesivo puede ser de importancia; en casos donde la lubricación es difícil como por ejemplo en los cojinetes de los rodillos de laminación en caliente.

La propagación de fracturas por fatiga esta concentrada en dos direcciones, una perpendicular y otra paralela a la superficie de contacto. El resultado es que al avanzar la fractura, la superficie del material es removida en escalas relativamente grandes en forma de hojuelas. La exfoliación por fatiga es un ejemplo de esto. El proceso es similar al que sufren al removerse, por rompimiento, las capas de material intercambiado en el desgaste adhesivo. Este proceso es llamado "Delaminación".(3).

II.1.6 Desgaste Erosivo.

Es el desgaste de una superficie, la cual es golpeada por una corriente de partículas. Si las partículas son gotas líquidas el desgaste es llamado erosión por cavitación y cuando se mencionan partículas erosivas se refieren a partículas sólidas.(3). Los sistemas tribológicos erosivos son también llamados sistemas de desgaste de tres cuerpos. Un cuerpo es la superficie expuesta, las partículas en contacto momentáneo con la superficie representan el segundo cuerpo. El medio el cual transfiere la carga sobre el segundo cuerpo, (este podrá ser otra superficie, una corriente líquida o el flujo mismo de partículas) es considerado como el tercer cuerpo.(3).

El principal mecanismo de tribofracturas en el desgaste erosivo son el microcorte y el impacto, adicionando la deformación plástica. Los ángulos de incidencia en erosión son menores que en abrasión.

II.1.7 Desgaste Vibracional.

El desgaste vibracional o rozamiento, envuelve elementos de todos los otros tipos. Los sistemas tribológicos de este tipo se caracterizan por estar sometidos a oscilaciones de varias frecuencias y pequeñas amplitudes. Dependiendo del material y las

condiciones de superficie, la adhesión puede actuar como un mecanismo de activación para mecanismos de abrasión, y la fatiga es un componente inherente.

Dependiendo de el diseño del sistema, este puede desprender partículas que no pueden escapar de el área de contacto y toman una función abrasiva. Al mismo tiempo la dificultad de mantener una lubricación continua, puede provocar adhesión. Para materiales metálicos los efectos adicionales de la corrosión son muy severos incrementandose el factor de desgaste. Una mezcla de partículas metálicas y partículas provenientes de el rompimiento de la capa de corrosión es un efectivo medio abrasivo el cual previene la adhesión y reemplaza al lubricante. Sistemas prácticos de rozamiento son las uniones mecánicas.

II.2. Pruebas de Desgaste.

II.2.1. Máquinas de Desgaste.

Generalmente los estudios de laboratorio de donde son obtenidos los datos de desgaste, se realizan bajo condiciones controladas, simulando situaciones reales. Hay un gran número de máquinas para evaluar el desgaste, todas ellas requieren el diseño de un par metálico, el cual provee la interfase friccionante.

La máquina de perno con extremo plano y disco es un aparato popular para pruebas de desgaste. Fig. (3a) Donde la probeta es sometida a una carga normal. Las variables son: La carga normal, la velocidad de deslizamiento, las condiciones atmosféricas y la temperatura del medio ambiente. La cantidad de desgaste puede ser establecida pasando el perno con una microbalanza. Una prueba de desgaste completa supone graficar la pérdida de peso contra la distancia deslizada hasta obtener un desgaste inicial y un estado estable de desgaste. Es muy importante trabajar bajo condiciones químicas de Limpieza y el método es muy laborioso.

Un método alternativo es usar un perno con la punta cónica, soportado por una barra de carga con una bisagra. La probeta es sometida a desgaste y después la máquina se para, la barra se gira 180 grados y la magnitud del desgaste es detectada conociendo la perdida de volumen.(2). Fig. 3b. Existen algunas máquinas estandarizadas para diversas pruebas, como la máquina de bloque sobre anillo (ASTM G77-83), la ASTM D83-83, algunas para cintas de abrasivos como la ASTM G75-82 o la ASTM D2625-83 que es para probar capas líquidas de lubricantes, pero son específicas para probar ciertos materiales, o capas de líquidos y no existen condiciones estandares para desgaste de materiales, como las hay para otras pruebas mecánicas. Por lo tanto al reportar valores de desgaste, se deben dar las condiciones a las

cuales la prueba fué realizada.

II.2.1. La Curva de Desgaste.

Si el volumen o el peso perdido es graficado continuamente contra la distancia, se obtiene una curva característica como la mostrada en la fig. 4. El punto O es cuando la máquina empieza a funcionar y la distancia recorrida es cero. La pérdida de peso inicial es curvilínea y la cantidad de peso o volumen perdido por unidad de distancia recorrida, decrece hasta el punto A, donde se une con una línea recta AB. El aumento del volumen o peso perdido en el estado de desgaste inicial está dado por AO, y AB es el estado estable, que es usado para encontrar el factor de desgaste de un material, dependiendo de las naturalezas de la otra superficie. El patrón de la curva mostrada en la fig. 4 es la presentada por partes de máquinas y hay un verdadero énfasis en la importancia del desgaste inicial antes de someter un componente a desgaste, a toda su carga, durante su vida de operación.

Cuando dos metales entran en contacto bajo carga, crean una situación donde la carga se concentra en las áreas de contacto verdaderas, que se forman entre las asperezas. Algunas veces, la tensión se concentra en dichas áreas de contacto, rebasando el límite elástico del material más blando de el par, este fluirá

plásticamente y el área de contacto crecerá dentro de un equilibrio de tamaño proporcional a la aplicación de la carga. Si ambos metales son duros, las asperezas pueden ser removidas por algún mecanismo de los antes descritos y la superficie toma una apariencia llana, donde el área de contacto verdadera se incrementa. Esta puede ser la razón más común por la cual el desgaste inicial se presenta, y es superado al lograr un área de equilibrio, cuando el contacto se ha estabilizado. Pero esto no explica todos los casos, ya que algunas veces, hay evidencia de formación de óxidos, o un incremento en la dureza de las interfases, y el mecanismo de desgaste inicial está gobernado por un gran número de factores interrelacionados.

II.2.3 Curvas Factor de Desgaste-Carga.

Cuando un nuevo material es investigado, la primera fase de el trabajo es usualmente una evaluación de la cantidad de desgaste con el incremento de la distancia recorrida. El siguiente paso es graficar el factor de desgaste contra la carga. Para bajas cargas, hay un régimen de desgaste no severo, seguido por un régimen de transición donde el factor se incrementa en pocos órdenes de magnitud. Posteriormente si se incrementa la carga, la curva se estabiliza, entrando a una zona donde el factor de desgaste vuelve a tener órdenes de magnitud similar. La carga a la cual la curva tiene el punto de inflexión es llamada

carga de transición y las zonas donde los factores son estables corresponden a regimenes de desgaste. Una curva típica se puede ver en la fig. 5.

No necesariamente un material puede presentar tan sólo dos regimenes, ya que algunos pueden presentar sólo uno o más de dos, dependiendo de las condiciones de la prueba y de la naturaleza del material. Algunos materiales forman varios tipos de óxidos y presentan curvas como la mostrada en la fig. 6 donde los diferentes regimenes corresponden a los diferentes óxidos formados.

II.3. Aleaciones antifricción

Un grupo de aleaciones muy importantes son las aleaciones empleadas como revestimiento en las piezas sometidas a desgaste, llamadas aleaciones antifricción. La resistencia al desgaste que puede presentar una aleación depende de un gran número de factores como: presión, lubricación, velocidad de rotación y microestructura de la misma.

En general, una aleación antifricción es una aleación de dos constituyentes, formada de una fase dura englobada en una matriz plástica. El constituyente duro resiste el desgaste y tiene un coeficiente de fricción pequeño. Es un metal puro o mas

generalmente una combinación de dos elementos. El constituyente plástico permita a la pieza sometida a desgaste, amoldarse a la otra superficie metálica con la que esta interactuando, permitiendo un ajuste adecuado en el caso de los cojinetes. Así las cargas se reparten uniformemente. La superficie de contacto es máxima y no hay peligro de tener presiones locales considerables que podrían deteriorar los metales en contacto

El constituyente plástico es ordinariamente un eutéctico. La proporción de estos dos constituyentes de caracteres opuestos varían con las aplicaciones, el constituyente duro es tanto mas abundante, cuanto mas fuerte es la presión que debe resistir. Estas aleaciones son de punto de fusión relativamente bajo, generalmente entre los 220 a 200 °C. por esto son fáciles de colocar y sobre todo una elevación anormal de temperatura provoca la fusión de la aleación y evita el calentamiento del par metálico, que podría ocasionar su deterioro.

Las aleaciones antifricción son muy numerosas y no daremos mas que las principales familias.

a) Antifricción a base de plomo Pb-Sb de aproximadamente 10 a 15% de Sb, el componente plástico es un eutéctico. Pb-Sn-Sb (60 a 80, 10 a 20 y 10 a 20). El constituyente duro es la combinación Sn_3Sb_2 . Pb-Sb-Cu (86-10-04).

b) aleaciones antifricción a base de estaño. Sn-Sb-Cu (78 a 83, 4

a 13 y 6 a 9). Sn-Pb-Sb-Cu (40-40-15-5). Estas aleaciones contienen dos constituyentes duros Sn_3Sb_2 y Cu_3Sn .

c) Antifricción a base de cobre, cobre-plomo de 20 a 30% de Pb.

Dentro de las aleaciones compuestas de Sn y Pb se encuentran los llamados metales "Babbit", cuya principal característica es su alta resistencia al desgaste, y sus propiedades antifricción. Algunas de estas aleaciones contienen entre 3.5 y 15% de antimonio el cual se combina con el estaño formando un compuesto intermetálico SbSn , que forma cristales cúbicos llamados "cuboides", que son duros y con buenas propiedades de baja fricción. Por economía se agrega Pb, que forma soluciones sólidas de solución limitada con estaño y con el antimonio. Estas soluciones sólidas forman estructuras eutécticas.

Actualmente se han desarrollado aleaciones con buenas propiedades al desgaste, a base de Pb, conteniendo pequeñas cantidades de los metales alcalinos Calcio y Bario, así como Sodio. Son del tipo de endurecimiento por precipitación, utilizando compuestos intermetálicos Pb_3Ca , Pb_3Ba . Existen además aleaciones base cadmio y base Zinc, las primeras se usan en forma limitada y tienen propiedades similares a las aleaciones base estaño. Las segundas se han desarrollado como sustituto para uso ligero, ya que carecen de la plasticidad adecuada.

A continuación se presenta una tabla con algunas aleaciones antifricción y su uso. (16).

Sn	Sb	Pb	Cu	Características y usos.
98	3.5	-	3.5	Usado principalmente para chumaceras de cabeza de biela.
86	10.5	-	3.5	Chumaceras, principalmente para motores de automóviles y de aviones. trabajo en general.
80	11	6	3	Trabajo en general en servicio pesado.
60	10	28.5	1.5	Locomotoras, maquinas de vapor, motores de combustión interna, generadores y dinamos.
40	10	48.5	1.5	Servicio mediano de tipo rodante de vía.
20	15	63.5	1.5	una aleación de servicio más bajo que la anterior.
5	15	80	-	Metal Magnolia útil a temperatura elevada para presiones y velocidades más bajas.
5	9	86	-	Ejes de los carros de ferrocarril

En general este tipo de aleaciones se usan en bielas y cojinetes del cigüeñal del arbol de levas de los automóviles, en los cojinetes de los motores diesel, y en muchos motores eléctricos.

Los bronce al plomo se utilizan también en los cigüeñales de los automóviles y máquinas areas. Se han utilizado con éxito aleaciones Ag-Cd para cojinetes de automóviles y aviones,

sometidos a altas presiones y elevadas velocidades.(19). Como puede observarse, por su uso cotidiano, las aleaciones antifricción son sumamente importantes.

II.4 Aleaciones Electrolíticas.

El uso de la electrodeposición de metales y aleaciones sobre un metal base, es otra alternativa muy interesante tecnológicamente hablando, ya que podemos darle mejores propiedades a una pieza, como protegerla contra la corrosión, mejorar sus propiedades a la fricción, darle propiedades magnéticas, etc, y en las partes que esta la requiera.

La electrodeposición es un proceso en frío, comparado con la preparación de las aleaciones por vía térmica, por lo que si se utiliza para aplicar una aleación antifricción, tiene la ventaja de no afectar térmicamente a la aleación base.

Se han desarrollado numerosas técnicas para electrodepositar a partir de soluciones acuosas, un gran número de elementos. Pero debido a sus limitadas propiedades, se hace necesario desarrollar procedimientos para electrodepositar aleaciones. Debido a que requieren de un control más complicado, se han desarrollado mucho menos procesos para electrodepositar aleaciones en comparación con los procesos para metales puros.

Las aleaciones electrodepositadas pueden tener grandes ventajas. Su dureza puede ser mayor que el del electrodepósito de metales individuales. También su dureza es mayor que el de la correspondiente aleación térmica, la cual es endurecida por tratamiento térmico o trabajado en frío.⁽¹⁾

Para predecir el posible resultado obtenido al electrodepositar una aleación, el diagrama de fases debe ser consultado en la región de baja temperatura. Las predicciones no se pueden hacer con certeza, debido a que los electrodepósitos regularmente están formados por cristales de tamaño muy fino, y los cristales de estas características pueden promover una solubilidad mayor que las estimadas por el diagrama de fases. La fisicoquímica nos dice que cuando la superficie es más grande comparada con la masa, en estos cristales, se puede esperar las desviaciones de comportamiento arriba señaladas. El plomo por ejemplo se ha electrodepositado con la plata en una solución sólida conteniendo 10% de Plomo, lo cual es mucho más alto que lo esperado de acuerdo con el diagrama de fases.⁽¹⁸⁾

Por esto las estructuras obtenidas en las aleaciones electrolíticas son muy diferentes a las estructuras de colada. Primeramente por el tamaño de los granos y segundo, debido a que ciertas estructuras no se pueden obtener por electrodepósitos,

como la estructura eutéctica, la cual se forma desde un líquido y a temperatura relativamente alta, pero no con los procesos que toman lugar durante la depositación.

II.4.2 Electroquímica.

Se han obtenido aleaciones antifricción electrolíticas Ag-Cd a partir de cianuro de plata y sulfato de cadmio (20) y Sn-Pb-Cd a partir de Fluoboratos (12),(14). Las aleaciones Pb-Cd han sido obtenidas a partir de baños de Fluoboratos (9),(11), Sulfamatos (10), a partir de Sulfamatos de Cd y Acetato de Pb (12). y a partir de Percloratos de Pb-Cd (1), que es la aleación estudiada.

Esta aleación se desarrolló, y se vió la posibilidad de utilizarla como una aleación resistente al desgaste. Con este baño electrolítico se pueden obtener depósitos de un 20 a un 71% de Cadmio, para densidades de corriente de 1.17 A/dm². a 7.87 A/dm². Estos intervalos de composiciones y de densidades de corriente son muy amplios, por lo que se requieren obtener condiciones mas específicas para obtener una aleación dada.

Una aleación Pb-Cd con un contenido de Cadmio alrededor del 20% cae dentro de la categoría de metales antifricción eutécticos base plomo. En este caso, el eutéctico esta constituido por finas

partículas de solución sólida de Pb-Cd.(1).

La estructura de la aleación electrolítica obtenida posee una estructura de granos ultrafinos, ya que no se encuentra en su estado de equilibrio termodinámico. La cristalización toma lugar muy por debajo de la temperatura de equilibrio térmico, y a temperatura ambiente la difusión está limitada, por lo que es imposible la precipitación de una segunda fase eutéctica debido a la falta de movilidad de los átomos. Esto concuerda con lo encontrado para aleaciones Pb-Cd a partir de Fluoboratos (11).

Aún cuando estas aleaciones existen en un estado metaestable pueden ser llevadas al equilibrio termodinámico por un tratamiento térmico adecuado, esperando un cambio en las propiedades mecánicas. Esto es debido a que, después de la recristalización vía térmica, se espera una mayor homogeneidad y tamaño de grano más pequeño que el encontrado en aleaciones térmicas correspondientes, impartiendo mejores propiedades antifricción a estas aleaciones.

Por estos motivos el objetivo del presente trabajo es continuar esta investigación y caracterizar las propiedades al desgaste de dicha aleación. Hacer un estudio comparativo con una aleación térmica homóloga y observar el efecto de los tratamientos térmicos en las propiedades al desgaste, en la dureza de la aleación y en su microestructura. Por último se estudiarán

los regimenes de desgaste presentes en esta aleación con las variaciones de carga y los principales mecanismos de desgaste que operan en estos regimenes.

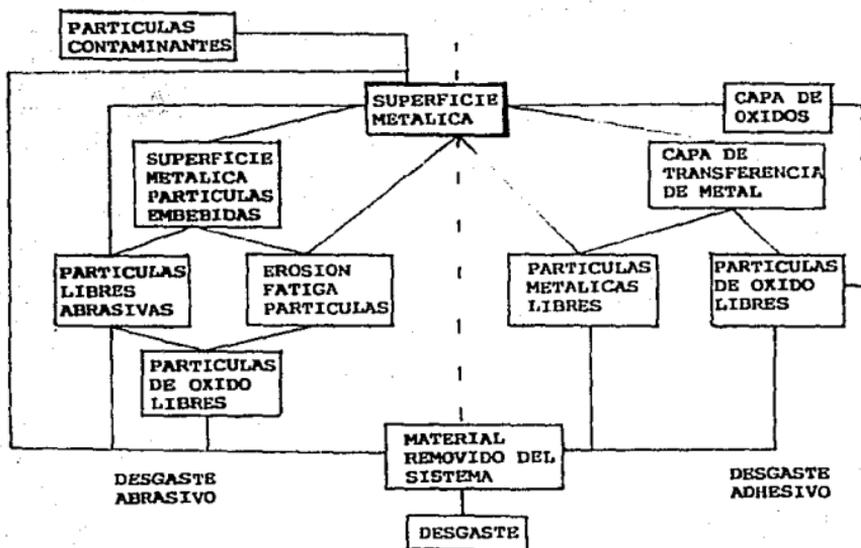


Fig. 1 Esquema simplificado representando la relación entre varios procesos de desgaste.

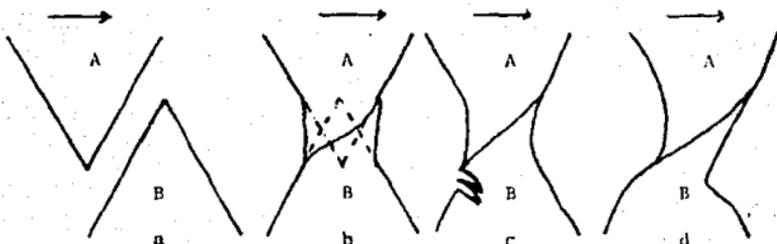


Fig. 2 Formación, deformación y fractura de una unión adhesiva. Fractura por corte en c, y fractura Tensil en d.

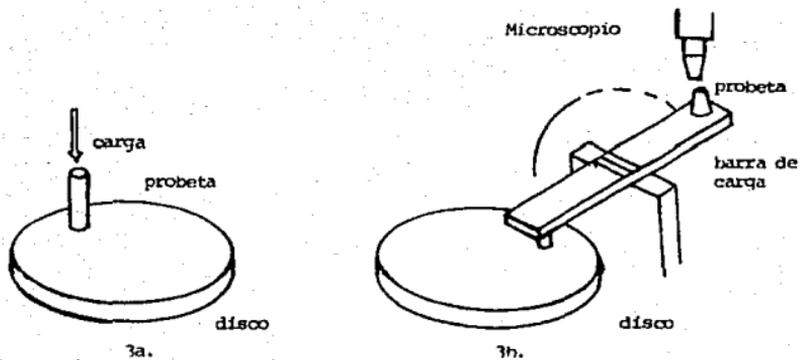


Fig. 3 Máquinas de Desgaste. 3a. Máquina disco-perno cilíndrico y 3 b. máquina con perno cónico.

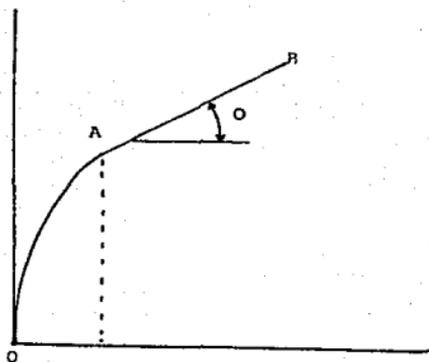


Fig. 4 Curva típica de desgaste.

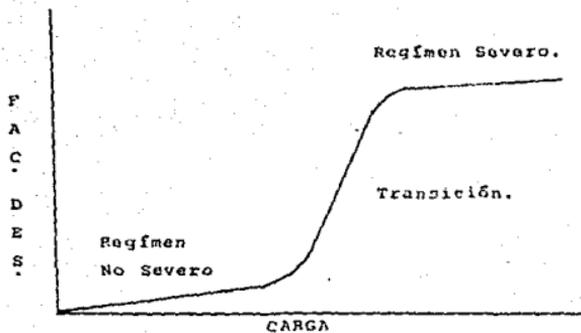


Fig. 5 Curva típica Factor de Desgaste-Carga

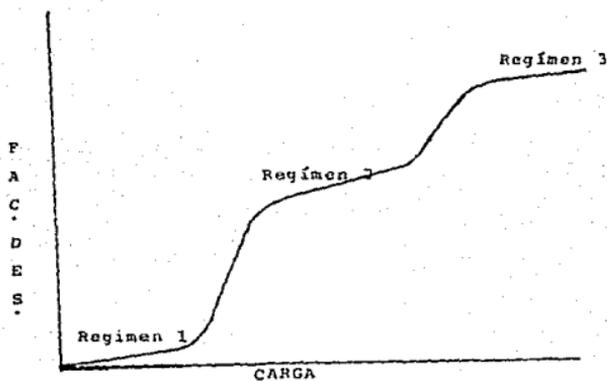


Fig. 6 Curva Fac. de Des.-Carga con tres Regimenes de Desgaste.

III. METODO EXPERIMENTAL

III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

III.1. Hipótesis.

1.- La aleación electrolítica Pb-Cd tiene una estructura metaestable, diferente a la estructura de la aleación térmica, pero dicha estructura puede ser llevada a una estructura al tendiente al equilibrio por tratamientos térmicos.

2.- Los tratamientos térmicos al modificar la estructura, modificaran también las propiedades al desgaste de las aleaciones.

3.- La aleación obtenida electrolíticamente tendrá mejores propiedades al desgaste que la aleación térmica homóloga por partir de una estructura de grano más fino.

II.2. Método experimental.

Para comprobar estas hipótesis, se presenta el siguiente método experimental.

1.- Experimentos previos.

a.- Elaboración de una serie de probetas de aleación Térmica Pb-Cd 90-10, las cuales serán sometidas a desgaste para determinar la distancia a la cual se obtiene un estado de desgaste estable y la carga más adecuada para hacer las pruebas de desgaste.

b.- Obtener las condiciones de depósitos óptimas de densidad de corriente y tiempo de depósito, para lo cual se realizarán una serie de depósitos con variando la densidad de corriente a tiempos de depósito constantes, y otra serie en la cual se mantendrá la densidad de corriente constante y se variará el tiempo de depósito.

c.- En estos experimentos previos se utilizarán técnicas de apoyo como microscopía electrónica de barrido y análisis químicos.

Con estos parámetros, se obtendrán la aleación electrolítica, y se realizarán las pruebas de desgaste.

2.- La aplicación de tratamientos térmicos, a la aleación térmica con el objeto de ver como se modifican las estructuras y las propiedades al desgaste.

3.- Aplicación de tratamientos térmicos a la aleación electrolítica, no aplicando aquellos que no modificaron sustancialmente las propiedades de las aleaciones térmicas, y aplicando tratamientos de mayor duración, todo esto con las respectivas pruebas de desgaste.

4.- Un seguimiento metalográfico de el efecto de los tratamientos térmicos en la microestructura.

5.- Medición de la dureza de las muestras sometidas a tratamientos térmicos, para tener otra propiedad mecánica

adicional a la resistencia al desgaste.

6.- Variación de las cargas para obtener curvas factor de desgaste-carga.

7.- Seguimiento por microscopio electrónico de barrido de las superficies sometidas a desgaste para determinar los mecanismos operantes.

8.- Aplicación de difracción de rayos X a polvos obtenidos en las superficies de desgaste, para verificar la presencia de compuestos formados, en especial de óxidos.

III.3. Detalle de las Técnicas y Materiales.

a) Descripción de la Aleación Térmica.

Se preparó una aleación térmica, utilizando un 90% en peso de Pb y un 10% de Cadmio, en un crisol refractario. Para la fusión se usó un Horno eléctrico Lindberg de crisol, haciéndola a 450 °C. y protegiendo al metal de la oxidación con carbón en polvo. Se vació en un molde múltiple de acero rodeado por arena.

b) Microestructuras.

Para la observación de las microestructuras, se pulieron a espejo con alumina de 0.3 micras y se atacaron con una solución de ácido acético glacial (al 75% en volumen) y peróxido de Hidrogeno al 30% (25% en volumen).

c) Pruebas de Desgaste.

Se realizaron en la máquina de desgaste, cuyo esquema y componentes se muestran en la fig. 7. El disco utilizado es de acero 4140 templado en aceite. Todas las pruebas se realizaron a 160 r.p.m., que equivale a una velocidad lineal de 50 m/min.

Al seleccionar diferentes diámetros de pistas para las pruebas de desgaste, se detectó una variación de la velocidad lineal, pero esto no afectó los resultados de desgaste obtenidos, ya que las influencias de estas variaciones de velocidad son mínimas en comparación con las variables estudiadas. El área de los pernos sometidas a cargas en desgaste es de 28.27 mm^2 .

d) Preparación de los Baños electrolíticos.

Se utilizaron los siguientes reactivos grado analítico:

- 1.- Óxido de Cadmio CdO (Cd)-1.86 M.
- 2.- Carbonato de Plomo PbCO_3 (Pb)-0.1147 M.
- 3.- Ácido Perclórico HClO_4 . (HClO_4)-4.47 M
- 4.- Resorcinol 10 g/lt.
- 5.- Pepsina 1 g/lt.

en la proporción adecuada. La composición de los baños electrolíticos es la mostrada y se utilizaron de acuerdo a la referencia 1.

e) Depósitos Electrolíticos.

Fueron realizados en cilindros de cobre montados en baquelita y en pernos o probetas de desgaste. Se utilizó el siguiente equipo:

1.- Potenciostato-Galvanostato PG/2EV Marca Vimar.

Voltaje de Salida 30 volts.

Corriente de Salida 1 amp.

Estabilidad 1 mv.

Tiempo de Respuesta 5 microsegundos.

2.- Celda estandar de tres electrodos.

a) Electrodo de trabajo.

i) Sustrato de Cobre.

ii) Sustrato de Acero 1010.

b) Electrodo auxiliar: Electrodo de Platino.

c) Electrodo de referencia: Electrodo Saturado de Calomel.

Con el baño electrolítico antes mencionado. Fig. 8

Antes de recubrirlas electrolíticamente, las probetas para desgasta de cilindros de 6 mm. de diametro y 2.3 de altura, a los cuales se les preparó con un acabado a lija 500. Se ataron fuertemente con alambre y se dejó expuesta solo un area de 1,22 cm² aislandose el resto con barniz como lo muestra la fig. 8.

f) Análisis.

i) Fluorescencia de Rayos X.

ii) Análisis vía Húmeda.

Se realizaron en los depósitos obtenidos de aleación

electrolítica con el objeto de obtener rápidamente la composición química del depósito obtenido. Para estos utilizamos la Microsonda JEOL 35M-35CF S.E.M.. Estos análisis se reportarán marcados con un asterisco "**", para diferenciarlos de los obtenidos por el otro método.

Los análisis via húmeda se realizaron con el objeto de comprobar la precisión del método de fluorescencia de Rayos X. Para realizar estos análisis, en el caso de los depósitos electrolíticos se prepararon placas de cobre a lija 600, se lavaron y secaron para pesarlas. Posteriormente se hizo un depósito electrolítico sobre ellas por un tiempo de cinco minutos, y se volvieron a lavar, secar y pesar. Posteriormente se les realizó el análisis. A las probetas de la aleación de Pb-Cd se obtenidas térmicamente, se les analizó por vía húmeda.

g) Otros Ensayos.

Se realizaron además observaciones en microscopio electrónico de barrido para observar la morfología en el caso de los depósitos electrolíticos obtenidos a diferentes densidades de corriente, y para las probetas sometidas a desgaste. También se hicieron ensayos de microdureza con el fin de observar el cambios de esta propiedad con los tratamientos térmicos.

h) Tratamientos Térmicos y Códigos.

Los tratamientos térmicos realizados, así como los códigos

y abreviaturas empleadas para designar a las probetas se explican en la siguiente tabla.

Tabla I.

Tratamientos Térmicos.

Abreviatura.	Tratamiento Térmico.
S.T.	sin Tratamiento Térmico.
Tem.	1 hrs. 200°C. enfriamiento en agua.
Rec. I	2 hrs. 200°C. enfriamiento en mufla.
Rec. II	5 hrs. 200°C. enfriamiento en mufla.
Nor. I	5 hrs. 200° C. enfriamiento en mufla.
Nor. II	12 hrs. 220° C. enfriamiento en aire.
Nor. III	16 hrs. 220° C. enfriamiento en aire.

Tabla II.

Tabla de Abreviaturas.

Abreviatura	Significado.
A.T.	Aleación térmica Pb-Cd 90-10
A.	Aleación Electrolítica Pb-Cd 90-10 sustrato acero.
C.	Aleación electrolítica Pb-Cd 73-27 sustrato cobre.

El código empleado es poner la abreviatura de la aleación que se trata, seguida de la abreviatura del tratamiento térmico a

la cual fué sometida.

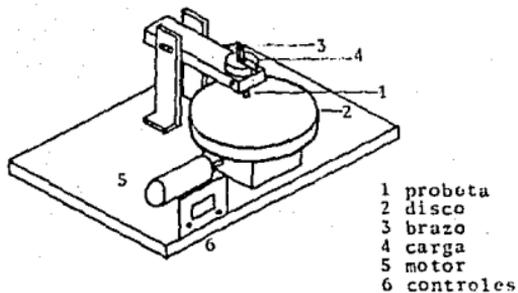


Fig. 7 Máquina de Desgaste.

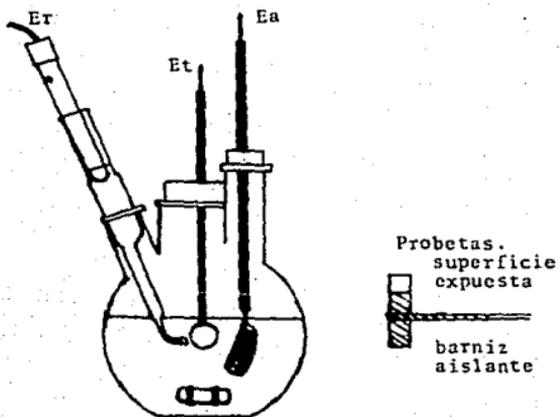


Fig. 8 Celda Estandar de tres Electrodo.

IV. RESULTADOS

IV. RESULTADOS.

IV.1.1 Parámetros de desgaste.

De las curvas de desgaste obtenidas al aplicar las pruebas de desgaste a la aleación térmica Pb-Cd 90-10, se encontró que llegaba a un estado de desgaste estable al recorrer una distancia mínima de 3000 mts. con una carga de 450 g., a una velocidad de 50 m/min. Estas son las condiciones que se utilizaron en las pruebas de desgaste.

IV.1.2. Condiciones de Depósito.

IV.1.2.1. Efecto de la Densidad de Corriente en la apariencia del Depósito.

Como se observa en la tabla III, al aumentar la densidad de corriente, se aumenta el porcentaje de Cadmio en la composición de la aleación electrolítica, pero se aumenta también la aparición de "racimos" o crecimientos de esferoides unidos unos a otros, haciendo depósitos no homogéneos y con grandes protuberancias, como se muestra en la secuencia gráfica I. Para obtener una aleación Pb-Cd 90-10 con un tiempo de depósito de 25 minutos, como lo muestra la tabla III, se necesita una densidad de corriente de 35 mA/cm^2 , pero por la morfología presentada, se requeriría un acabado final como sería un desbaste para eliminar

las protuberancias. Por la apariencia más homogénea de la morfología, se tomó la densidad de corriente de 20 mA/cm².

IV.1.2.2 Efecto del Tiempo de depósito en la composición Química de la Aleación electrolítica.

Utilizando la densidad de corriente de 20 mA/cm², se obtuvieron probetas con tiempo de depósito de 720 min. y con espesores de 450 um., para cumplir las exigencias de las pruebas de desgaste. Esto provocó los siguientes efectos en la composición de las aleaciones obtenidas, y en el baño electrolítico.

Al paso de la corriente la solución empieza a degradarse debido a la oxidación de los aditivos orgánicos Resorcinol y Pepsina, pasando de un color rosa a un color rojo y finalmente a un color café. El ánodo de platino es manchado por una capa café oscuro que se cae al lavarla y que colorea la acetona. Esto concuerda con lo mencionado en la referencia (11) sobre los aditivos.

Así la solución se empobrece en aditivos y en plomo, variando la composición química de las aleaciones obtenidas de esta solución, como lo muestra en la tabla IV.

Los recubrimientos en acero, se realizaron partiendo de soluciones nuevas, y los de cobre de seminuevas, por tanto sus composiciones no son las mismas. La aleación electrolítica obtenida en el sustrato acero corresponde a una aleación electrolítica Pb-Cd 90-10 y la electrodepositada en el cobre corresponde a una aleación Pb-Cd 73-27.

Tabla III.

Influencia de la Densidad de Corriente en la Composición Química.

Muestra	i mA/cm ² .	Composición (Pb-Cd)*	
M1-E	4	96.77	3.32
M2-E	7.18	90.49	9.51
M3-E	10	95.07	4.93
M4-E	20	95.27	4.73
M5-E	30	92.97	7.09
M6-E	40	89.65	10.35
M7-E	60	88.28	11.72
M8-E	70	87.45	12.55
M9-E	90	81.42	18.58
M10-E	100	66.74	33.26

Tiempo de depósito 25 minutos.

Tabla IV.

Influencia del tiempo en la composición
Química del depósito.

i mA/cm ² .	Pb	Cd	Solución	Tiempo de Depósito.
20	94.8	5.2	Nueva	0
20	83.9	13.7	seminueva	720 min.
20	61.86	38.7	gastada	1440 min.
25	73.2	26.8	ref. 1	-

35	91.82	8.18	Nueva	0
35	71.7	22.2	seminueva	720 min.
35	48.39	41.1	gastada	1440 min.
35.6	40.8	59.2	ref. 1	-

IV.2. Desgaste

IV.2.1. Efecto de la Densidad de Corriente en el Desgaste de la Aleación electrolítica.

En la fig. 9 podemos apreciar tres curvas de desgaste realizadas a diferentes densidades de corriente, a un tiempo constante. Existen dos parámetros importantes: La distancia máxima recorrida que puede soportar el recubrimiento antes de

romperse y dejar desprotegido al sustrato, y la pérdida de peso total, que se puede ver en la posición de la curva. En este caso, como no llegamos a un estado estable de desgaste, no podemos sacar la pendiente de la curva que corresponde al factor de desgaste. Así se puede ver que la probeta que recorrió mayor distancia antes de fallar fué la de 50 mA/cm². y la que recorrió menor distancia fué la de 35 mA/cm². Además se puede observar que la curva que tiene la posición de un desgaste menor es la de 35 mA/cm². con respecto a las otras dos.

Sabemos que a una mayor densidad de corriente, el espesor del depósito será también mayor a un tiempo constante y se esperaría que a una densidad mayor el depósito presentara una distancia máxima recorrida mayor. Sin embargo la formación de las morfologías de "racimos" antes mencionadas y las protuberancias, provocan que las probetas que los presentan se desgasten de una manera heterogénea, ya que estas morfologías se desprenden arrancando trozos de recubrimiento, dejando desprotegido al sustrato antes del tiempo esperado y resistiendo poca distancia. Por tener un compromiso entre el peso perdido y la distancia recorrida, por presentar una morfología más uniforme y un desgaste homogéneo, además de presentar la composición adecuada, se eligió la densidad de corriente de 20 mA/cm².

IV.2.2. Influencia del Tiempo de Depósito en la Distancia Máxima recorrida.

En la fir. 10, se puede apreciar este efecto. Al aumentar el tiempo de depósito a la densidad de corriente elegida, se aumenta la distancia máxima recorrida por el recubrimiento. Para poder comparar los recubrimientos electrolíticos obtenidos y sus propiedades al desgaste con las de la aleación preparada térmicamente, se requiere un recubrimiento que resistiera un mínimo de 3000 mts. a 450 g. de carga, para llegar a un estado estable de desgaste. Además debe quedar una capa de recubrimiento al terminar la prueba, para poder estudiar los aspectos presentados durante el desgaste e inferir los mecanismos que están actuando. Para asegurar las condiciones anterior y obtener un recubrimiento electrolítico que resistiera incluso distancias superiores a los 3000 mts. y cargas mayores de 450 g., se eligió el tiempo de depósito de 720 min., que da espesores de 450 micras.

IV.2.3. Efecto de la Carga en el Desgaste.

En la fig. 11 se muestran las pruebas realizadas a diferentes cargas, a probetas de aleación térmica sin tratamiento térmico. Las posiciones de la curva nos permiten apreciar que el desgaste disminuye conforme disminuye la carga.

IV.2.4. Efecto de los tratamientos térmicos en el desgaste de la Aleación Térmica Pb-Cd.

En la fig. 12, se presenta este efecto. Se realizaron los tratamientos térmicos a las probetas y se las sometió a la prueba de desgaste a una carga constante de 450 g. Se puede apreciar que el tratamiento que tiene mayor efecto es el recocido (Rec. I), ya que el templado modifica en menor proporción la curva de desgaste, en comparación con la curva de la probeta sin tratar. Además el recocido entra en una zona de desgaste estable a una distancia menor que las otras dos curvas. Se hicieron los mismos tratamientos a probetas sometidas a cargas de 150 g. y el efecto de los tratamientos térmicos en el desgaste son menos notables. En la grafica 10 se ve mejor el efecto de los tratamientos térmicos en el desgaste, utilizando el factor de desgaste, que no es otra cosa que la pendiente de las curvas tomadas en el estado estable de desgaste. (2).

IV.2.5. Efecto de los Tratamientos Térmicos en la Aleación electrolítica Pb-Cd.

En la fig. 14 se muestran las curvas de desgaste de las pruebas efectuadas a los recubrimientos depositados sobre el sustrato acero. Se aprecia que todas las pruebas siguen un mismo comportamiento, y las diferencias no son tan notables como en el

caso de la aleación térmica Pb-Cd. Todas las curvas de las probetas tratadas térmicamente estan por debajo de la curva de la aleación sin tratar térmicamente. Los tratamientos térmicos tienen un efecto en el estado estable de el desgaste, y mejoran las propiedades al desgaste, sobre todo en su estado inicial. Sacando los factores de desgaste se aprecia mejor esta influencia en la fig. 20.

En la fig. 13 se concluye que en las probetas con sustrato cobre se observa también un cambio, y todas las probetas sometidas a tratamiento térmico estan por debajo de la curva sin tratar, lo que significa que el desgaste disminuye. Así podemos afirmar que los tratamientos térmicos mejoran las propiedades al desgaste. En el estado estable, el que presenta mejor tendencia a resistir el desgaste es el recocido I. Podemos apreciar este efecto en la fig. 20.

IV.2.6. Efecto de la Carga en la Aleación

Electrolítica Pb-Cd.

En la fig. 15 podemos notar el efecto de la carga en el desgaste de una aleación electrolítica en sustrato cobre, sometida a recocido I. Igual que en la aleación térmica, el desgaste disminuye con la carga. Esta aleación soporta cargas mucho mayores y pierde mucho menos peso. Sacando los factores de desgaste y los graficamos contra la carga, obtenemos la curva

factor de desgaste-carga. Esta se presenta en la fig. 17, y se aprecia que estamos en cargas menores a una carga de transición ya que el factor de desgaste no se incrementa notablemente y por la forma de su curva. (ver fig. 5 en antecedentes).

IV.2.7. Carga de Transición.

En la fig. 16 se muestran los factores de desgaste obtenidos para la aleación térmica, graficados contra la carga. Podemos apreciar que los valores son de un orden de magnitud superior en el caso de la aleación térmica sin tratamiento térmico y en la templada, comparados con las aleaciones recocidas electrolítica Pb-Cd 73-27 y térmica. Existe una gran diferencia, ya que las aleaciones térmicas sin tratamiento y templadas tienen puntos de inflexión, correspondientes a las curvas que presentan dos regímenes de desgaste y sus factores se incrementan en un orden de magnitud superior. Las aleaciones recocidas se mantienen en un primer régimen de desgaste, ya que no tienen puntos de inflexión y sus factores no se incrementan notablemente, aun a cargas de 900 g.

IV.2.8. Efecto en la Microdureza.

Los resultados de los ensayos de microdureza se presentan en la tabla V.

Tabla V.

Efecto de los tratamientos térmicos en la microdureza

Probeta	Tratamiento Térmico	Hv.
A. S.T.	Sin tratamiento	251
A. Rec. I.	Recocido I. 2 hrs. 200°C	142
A. Rec. II.	Recocido II. 5 hrs. 200°C.	115
A. Nor. II.	Normalizado II. 12 hrs. 200°C.	123

C. S.T.	Sin tratamiento	260
C. Rec. I.	Recocido I. 2 hrs. 200°C.	251
C. Rec. II.	Recocido II. 5 hrs. 200°C.	144
C. Nor. I.	Normalizado I. 5 hrs. 200°C.	122

A.T. S.T.	Sin Tratamiento	71
A.T. Tem.	Templado 1 hr. 200°C.	142
A.T. Rec. I.	Recocido I. 2 hrs. 200°C.	122

Como puede apreciarse, los tratamientos térmicos disminuyeron la microdureza en la aleación electrolítica. Cuando los tiempos de permanencia eran mayores, la dureza disminuyó, salvo el caso de los normalizados. La mayor cantidad de cadmio en

las probetas de sustrato cobre, hacen que estas sean más duras, pero no necesariamente más resistentes al desgaste.

Los resultados se pueden resumir presentados en la forma de las fig. 18 a la 21, donde se muestran los factores de desgaste a cargas de 450 g y la microdureza contra los diferentes tratamientos térmicos. En las secuencias fotográficas se muestran las microestructuras presentadas por las aleaciones, y algunos aspectos de las superficies desgastadas en los dos regimenes de desgaste encontrados, así como el difractograma de rayos x de el óxido formado en el regimen de desgaste no severo. Fig. 22. La explicación de de estas últimas fotografías se presenta en la discusión.

GRAFICA 1

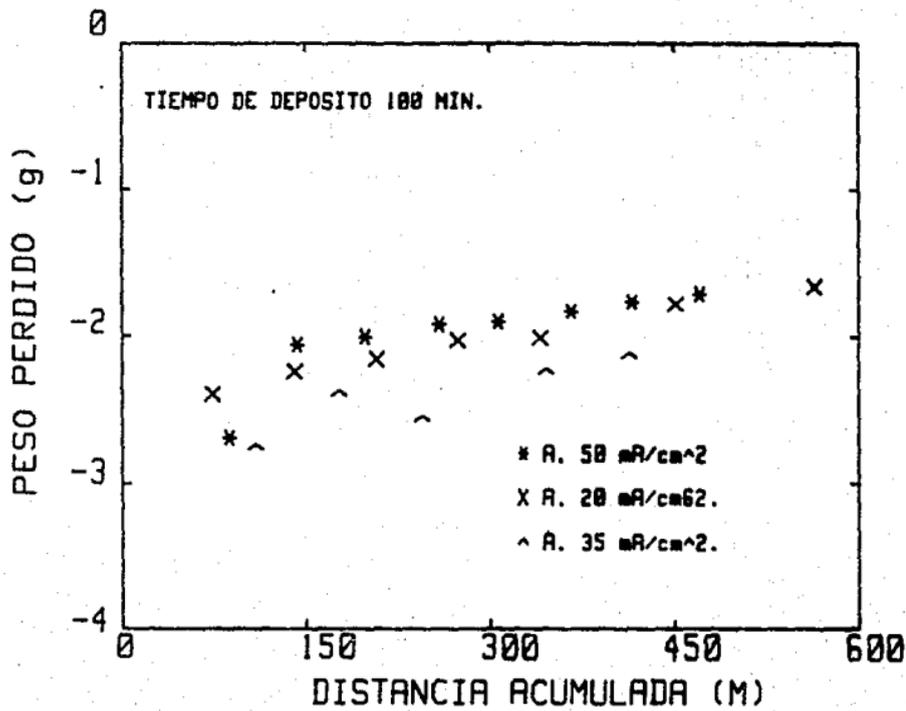


FIG. 9

GRAFICA 2

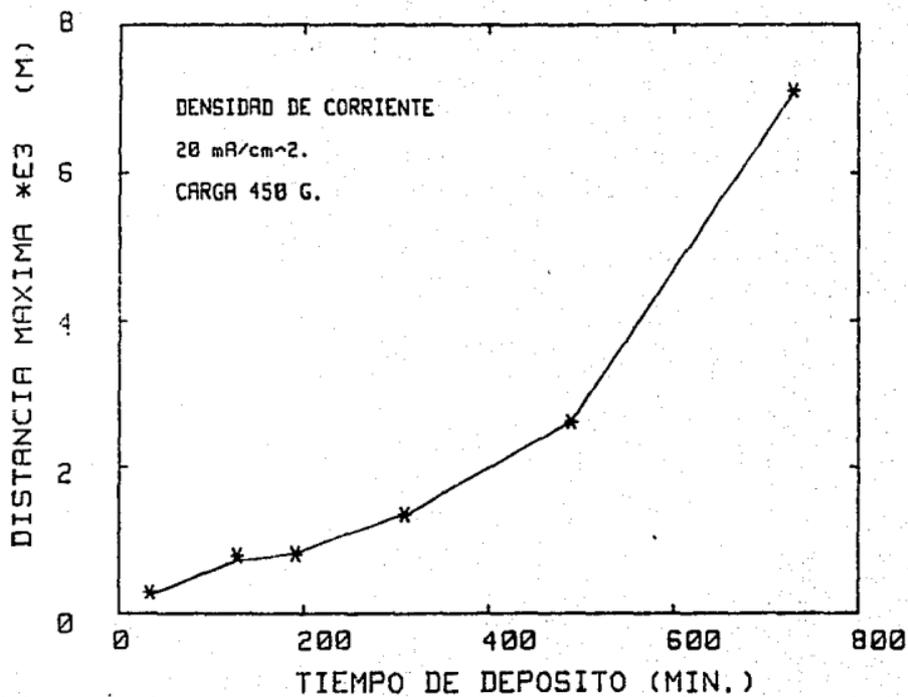


FIG. 10

GRAFICA 3

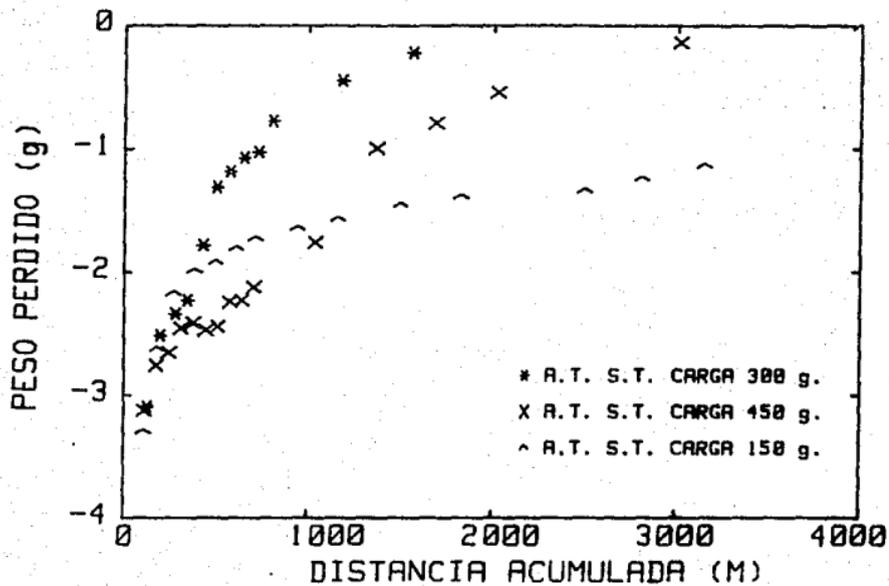


FIG. 11

GRAFICA 4

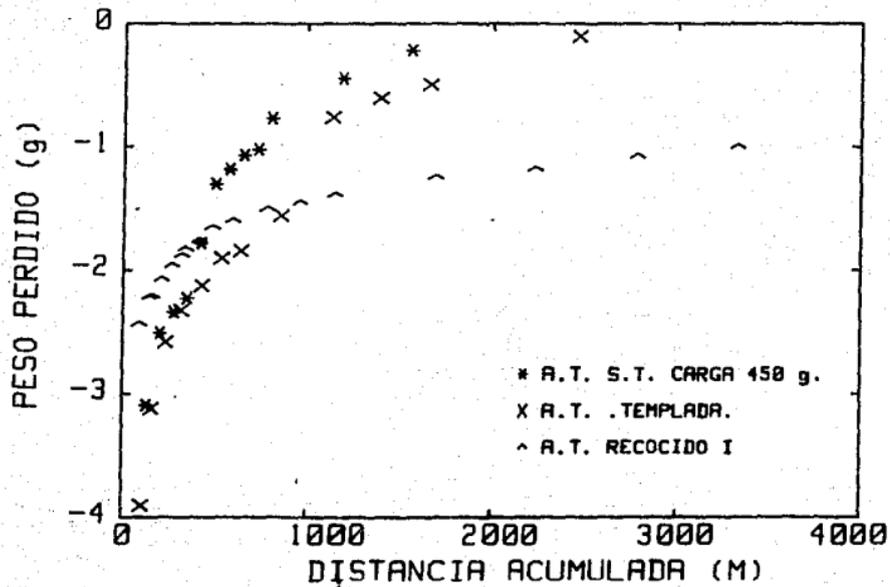


FIG. 12

GRAFICA 5

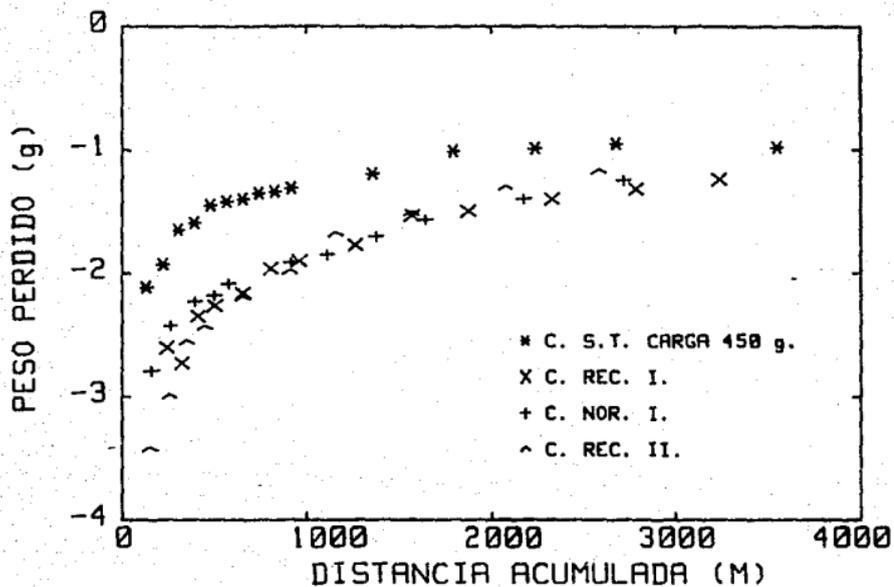


FIG. 13

GRAFICA 6

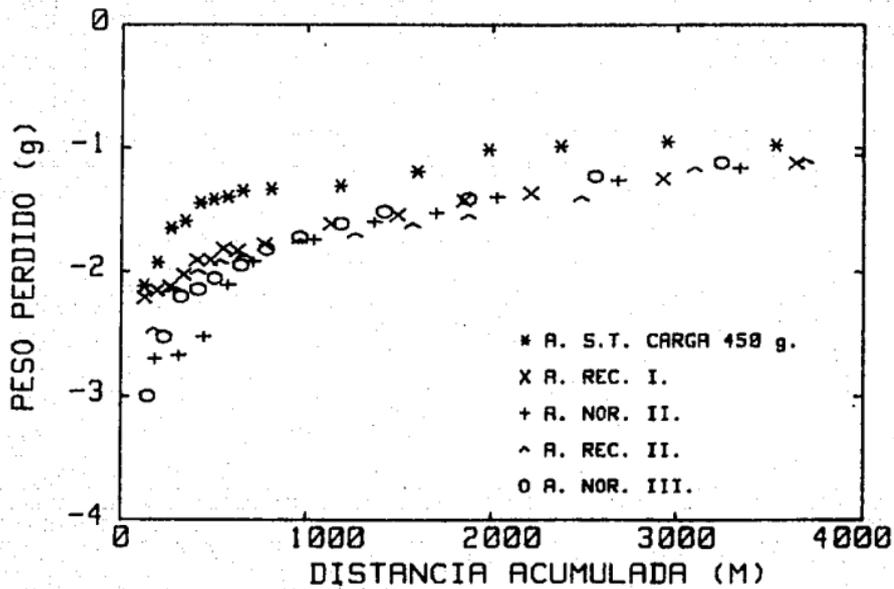


FIG. 14

GRAFICA 7

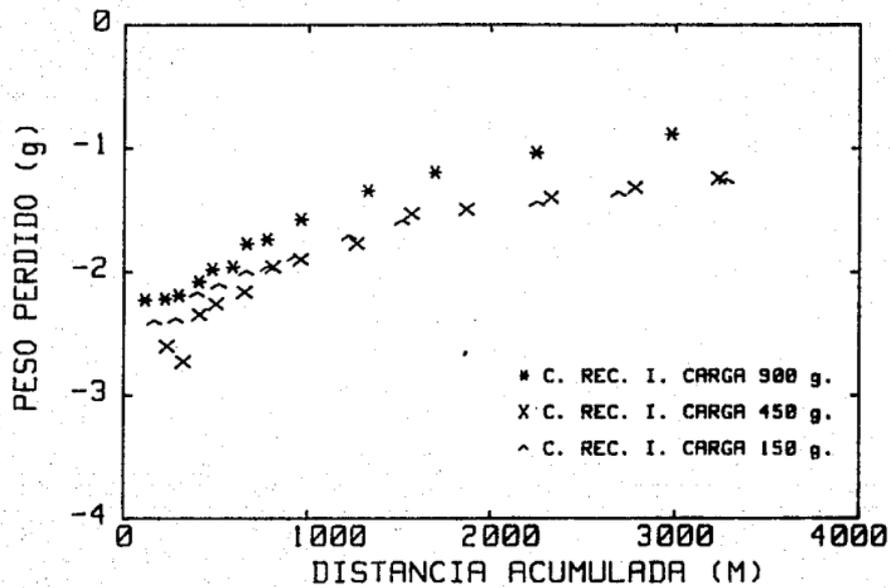


FIG. 15

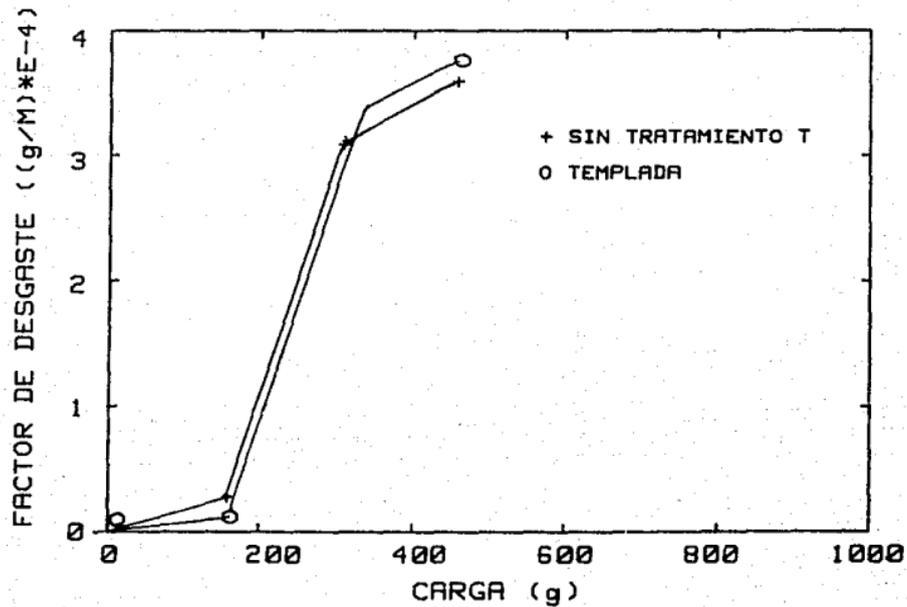


FIG. 16

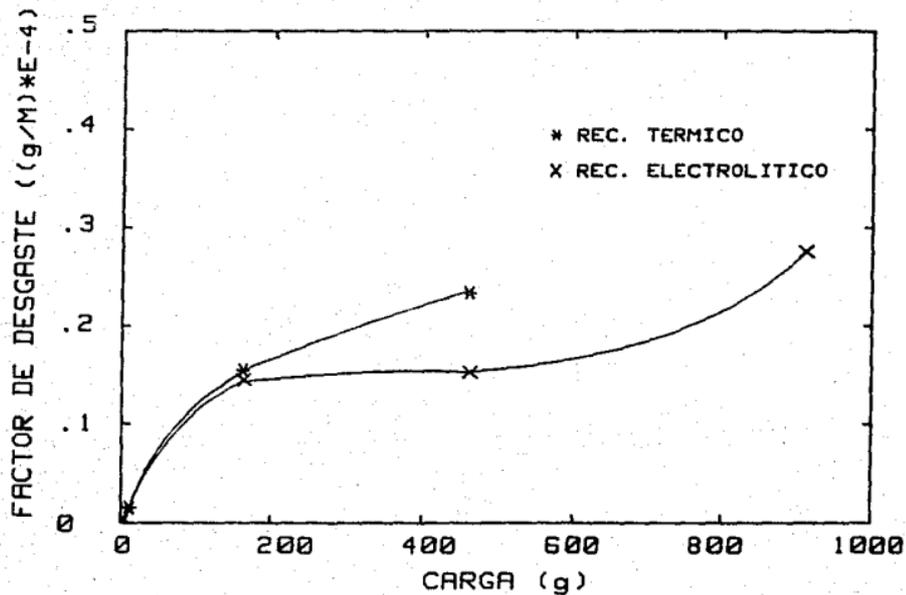


FIG. 17

GRAFICA 10

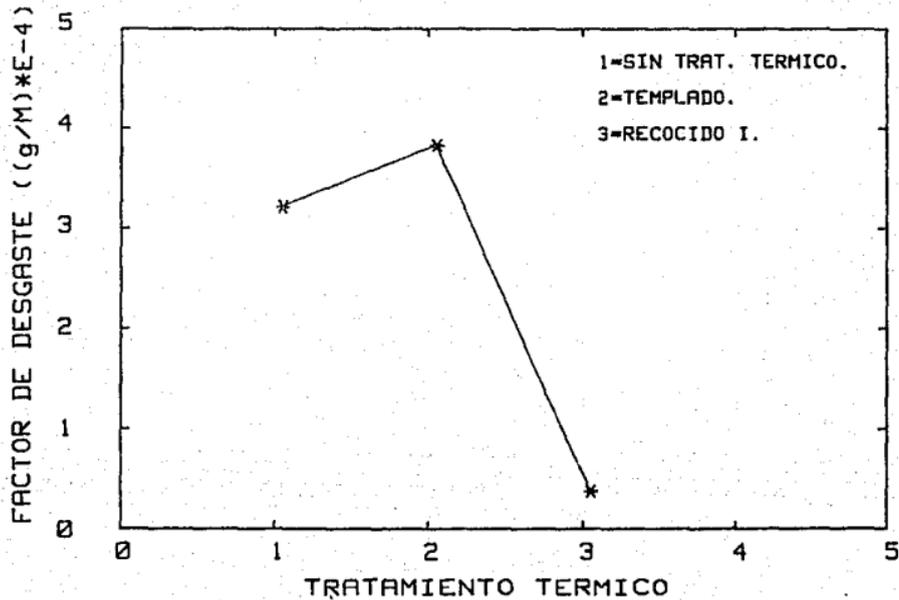


FIG. 10

GRAFICA 11

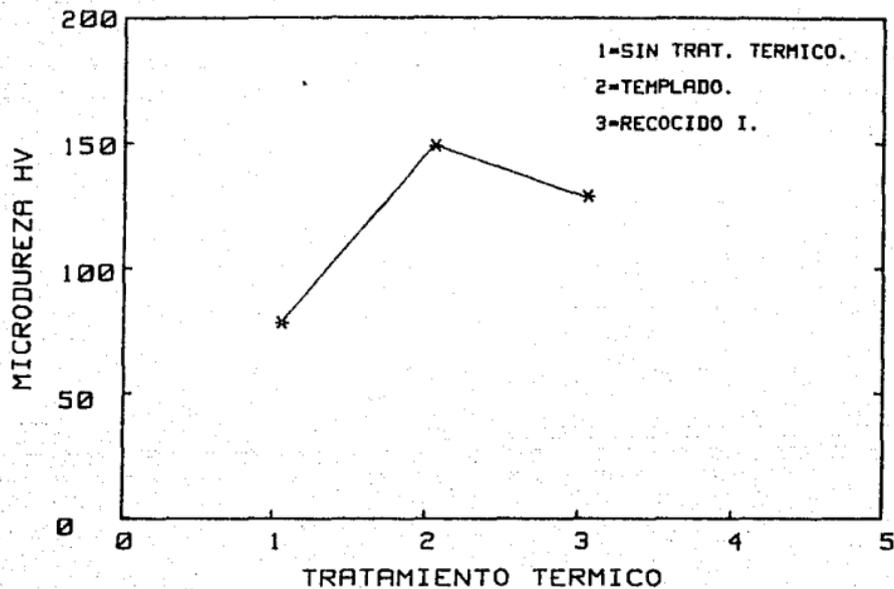


FIG. 19

GRAFICA 12

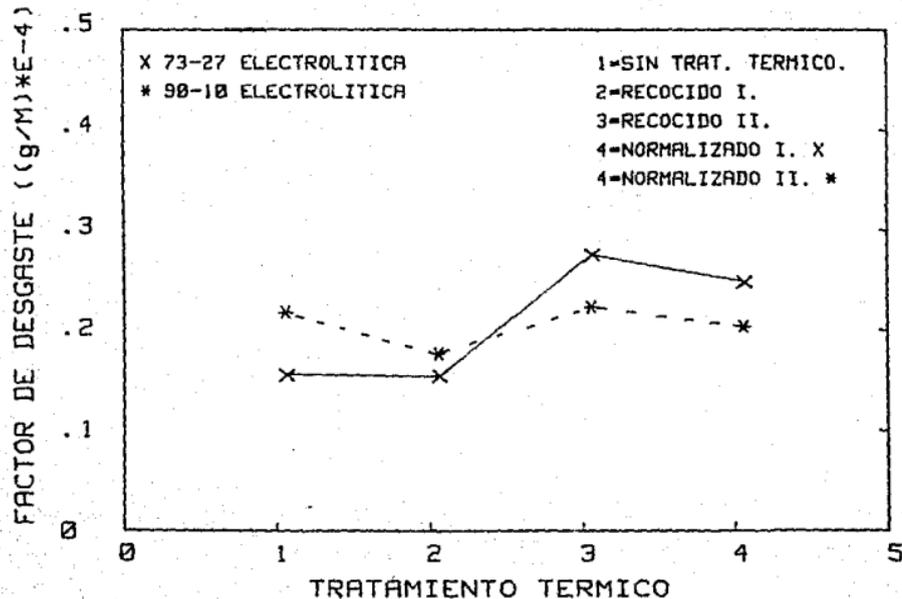


FIG. 20

GRAFICA 13

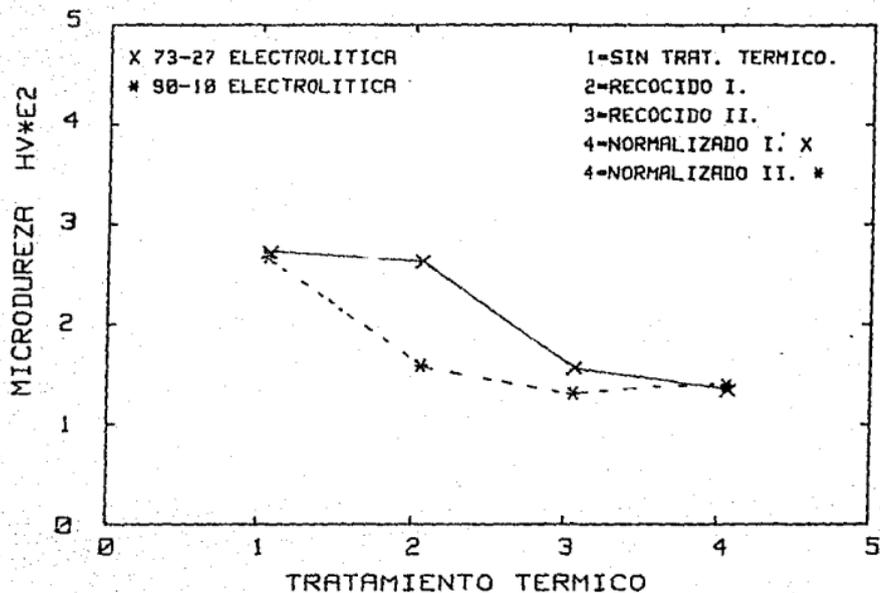
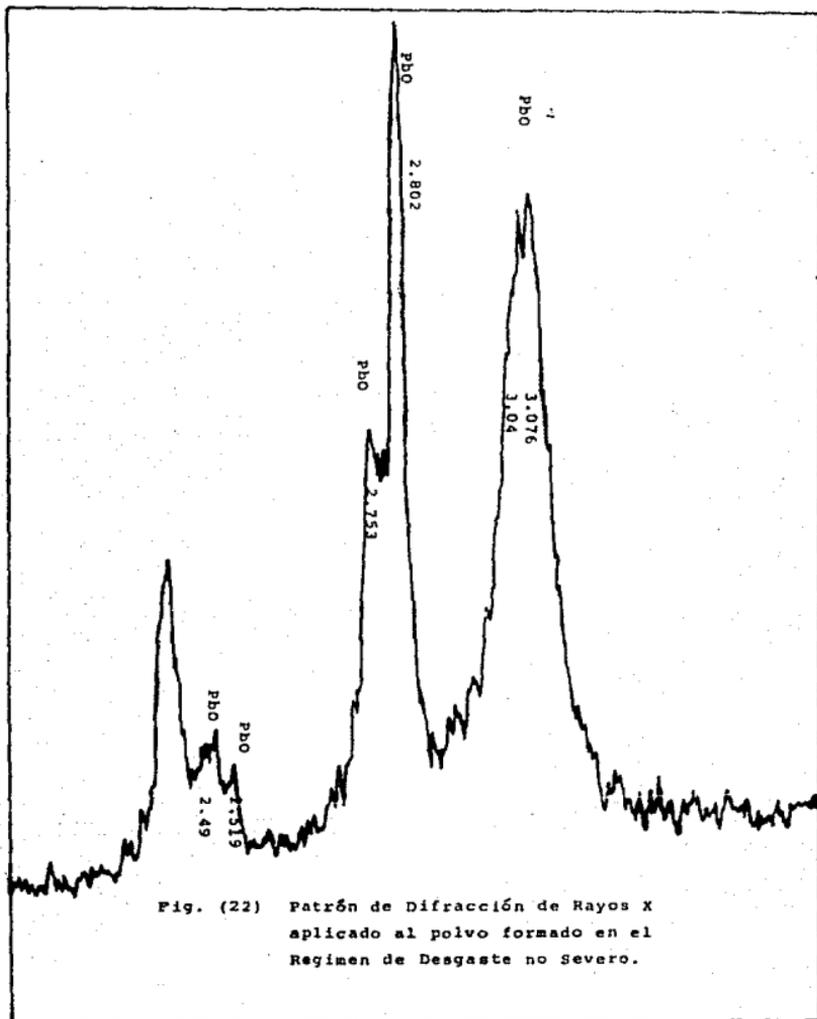
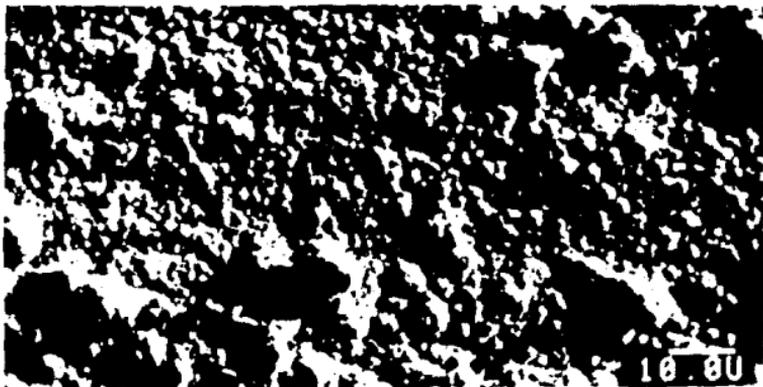


FIG. 21

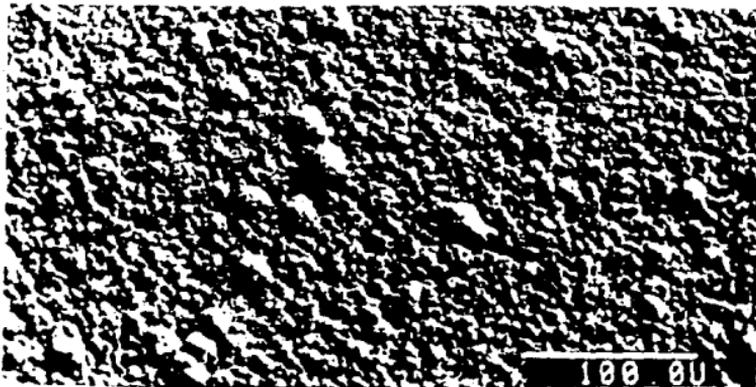


Secuencia Fotográfica I.

Influencia de la Densidad de Corriente en la
Morfología de los depósitos.



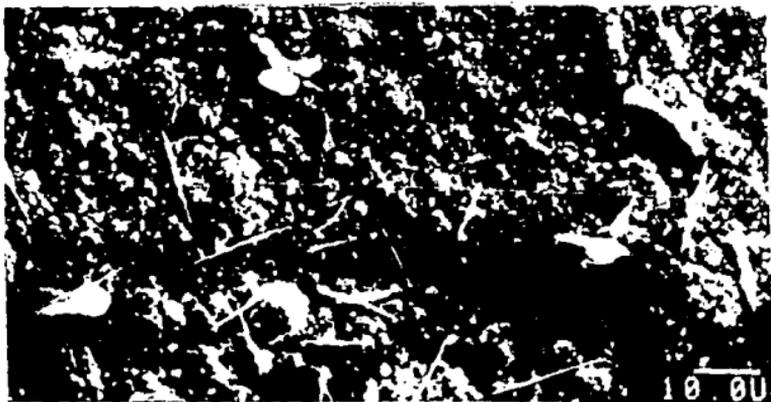
1.- M1-E 4 mA/cm².
Superficie
1000 x



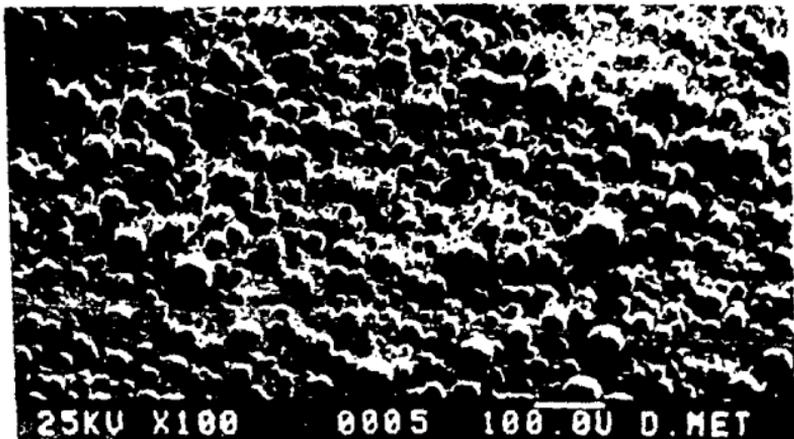
2.- M3-E 20 mA/cm².
Superficie
270x



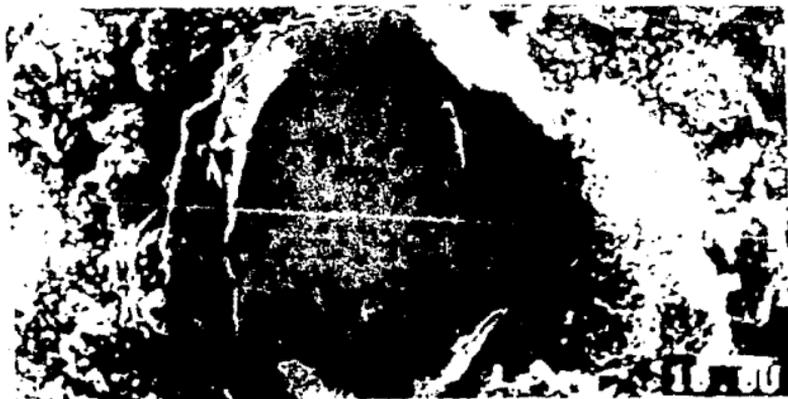
3.- M3-E 10 mA/cm².
Crecimiento Wiskers.
270x



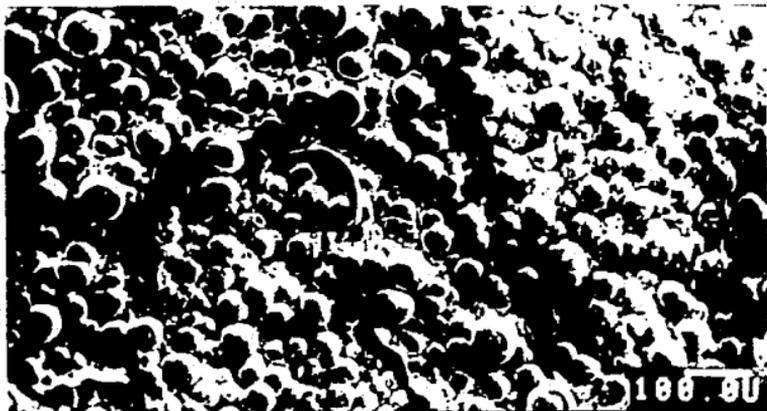
4.- M5-E 30 mA/cm².
Hojuelas y cristales.
1000x



5.- M7-E 60 mA/cm².
Superficie.
100x



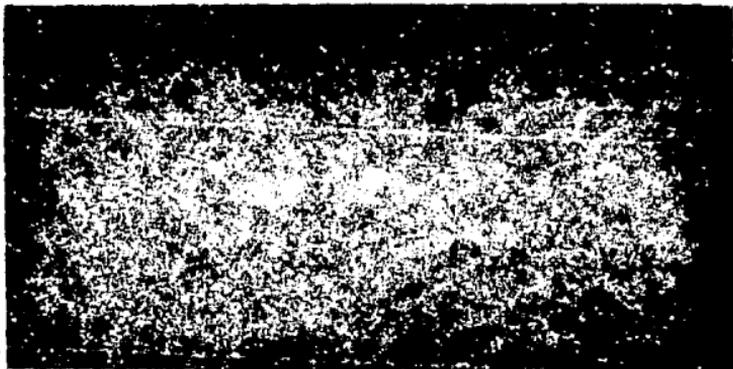
6.- M9-E 90 mA/cm².
Burbuja.
1000x



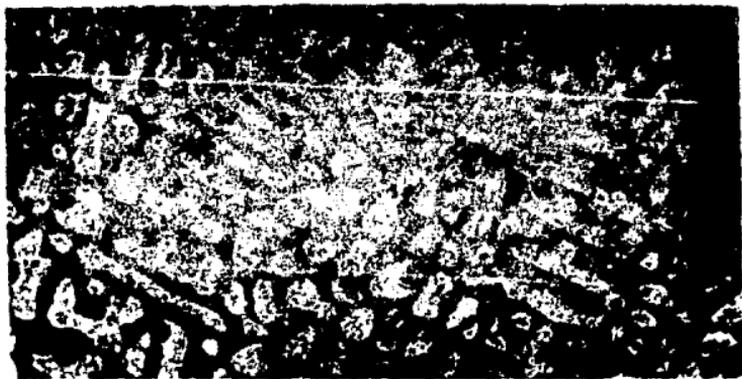
7.- M10-E 100 mA/cm².
Superficie.
100x

Secuencia Fotográfica II.

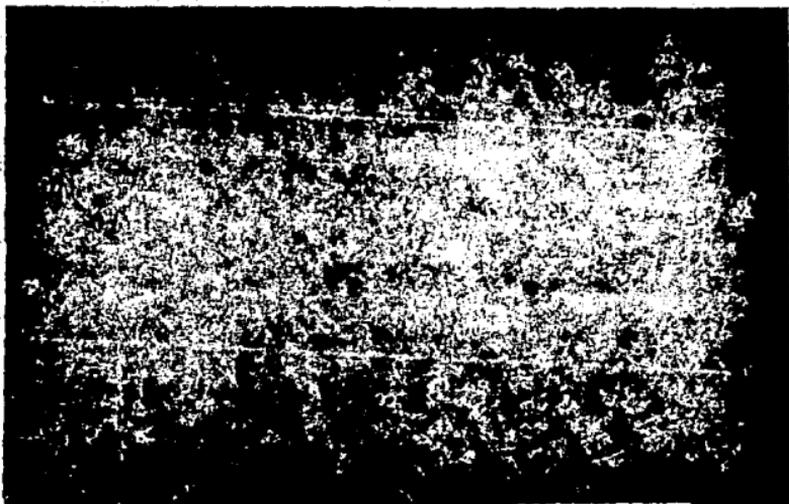
Microestructuras de la Aleación Térmica 90-10 sometida a
Tratamientos Térmicos.



8.- Aleación Térmica Pb-Cd 90-10
sin tratamiento térmico
200x



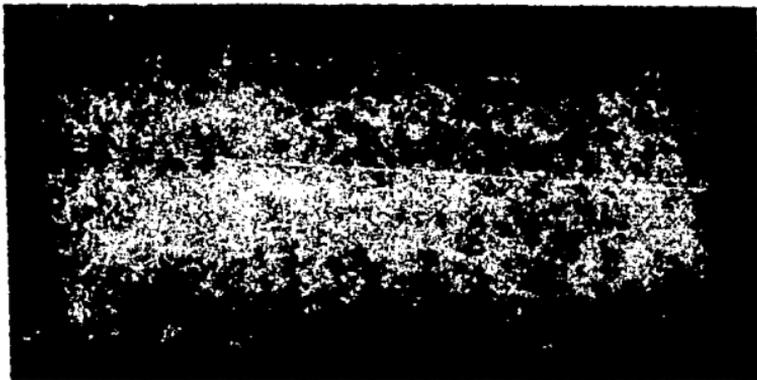
9.- Aleación Térmica 90-10.
Templada 1 hrs. 200°C.
200x



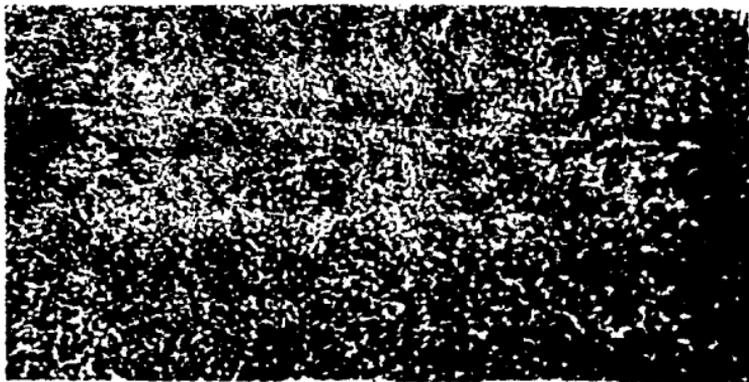
10.- Aleación Térmica Pb-Cd 90-10
Recocida 2 hrs. 200°C.
200x. Estructura Poligonal.

Secuencia Fotográfica III.

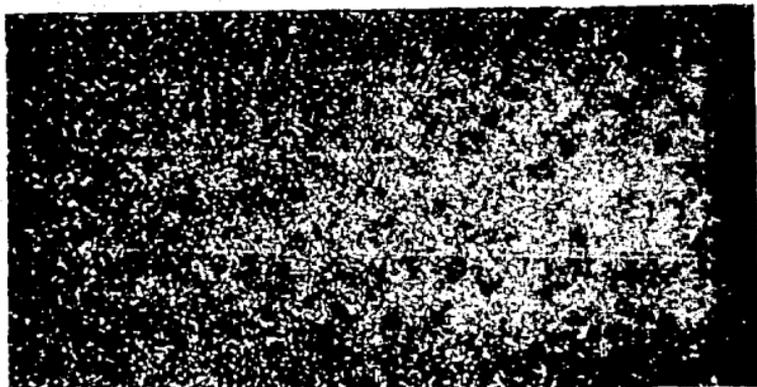
Microestructuras de las aleaciones electrolíticas sometidas a
Tratamientos Térmicos.



11.- Pb-Cd 90-10 Electrolítica.
Sin Tratamiento térmico
400X



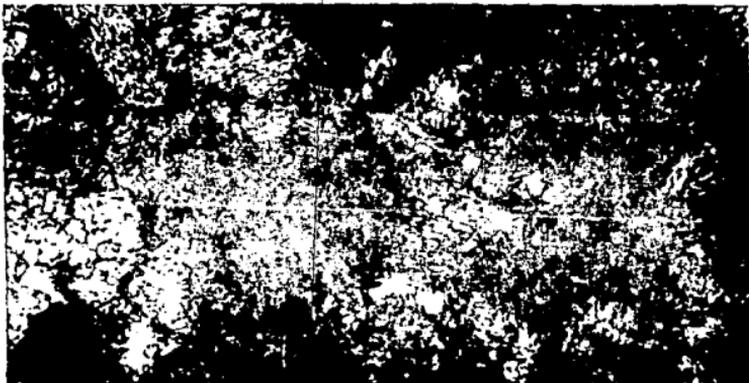
12.- Pb-Cd 73-27 Electrolítica.
Recocido I 200°C. 2 hrs.
400X



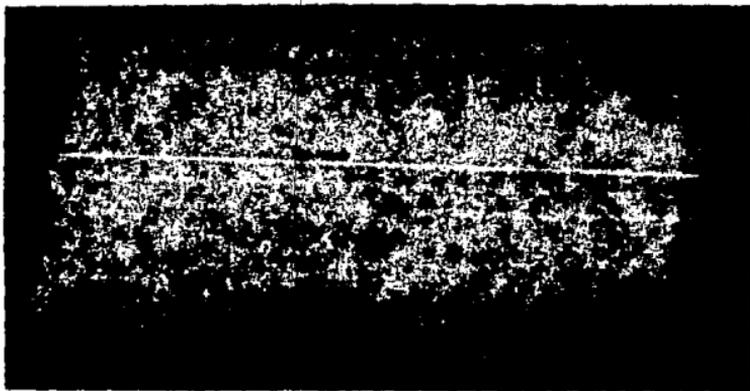
14.- Pb-Cd 73-27 Electrolytica.
Recocido II. 200°C. 5 hrs.
400x



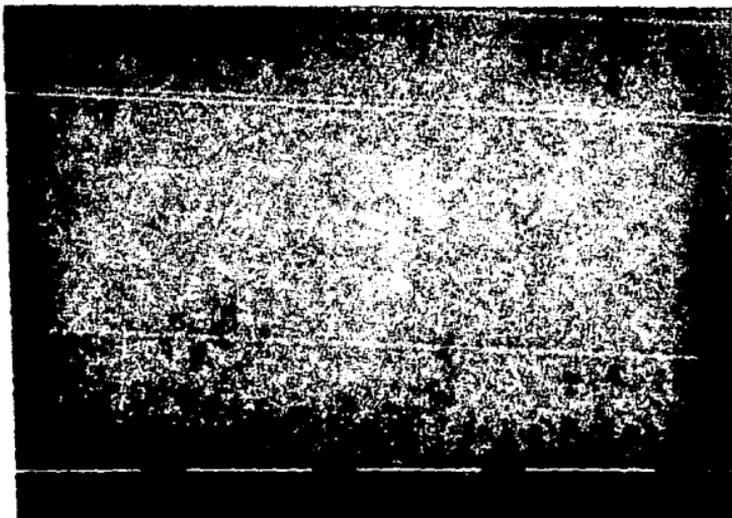
13.- Pb-Cd 73-27 Electrolytica.
Normalizado I. 200°C. 5 hrs.
400x



15.- Pb-Cd 90-10 Electrolytica
Normalizado II 220°C. 12 hrs.
400x



16.- Pb-Cd 90-10 Electrolytica.
Normalizado III 220°C 16 hrs
400x



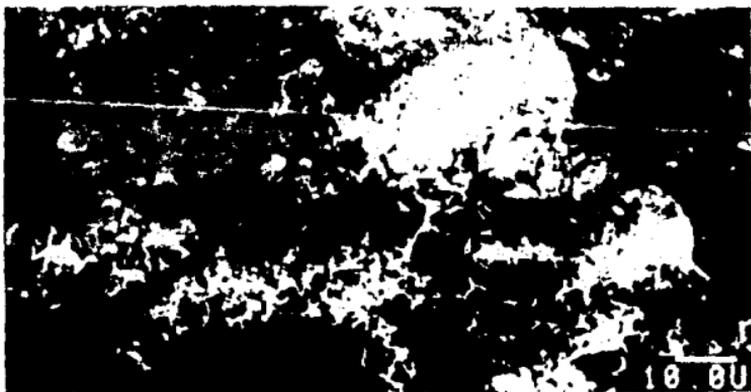
17.- Pb-Cd 90-10 Electrolitica
Normalizado III 220°C. 16 hrs.
Microscopio Electrónico de Barrido
Estructura Poligonal.

Secuencia Fotográfica IV.

Aspectos de superficies sometidas a desgaste.



18.- Superficie Desgastada. Regimen no severo.
Aleación Térmica 90-10. Templada.
Carga. 150 g.



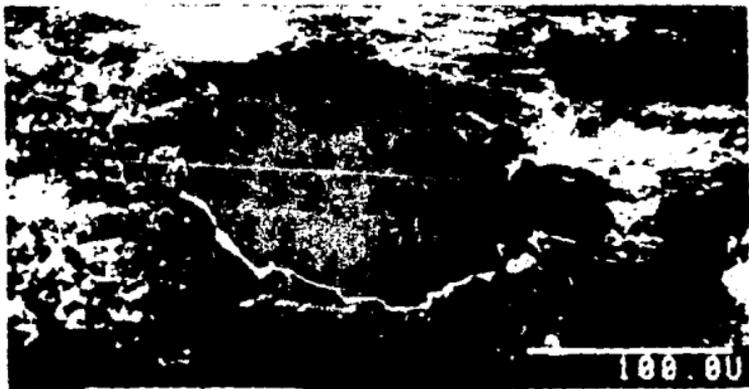
19.- Detalle de las partículas de óxido
dentro de una cavidad.
Regimen no Severo.
Aleación Térmica 90-10 sin tratamiento.
Carga 150 g.



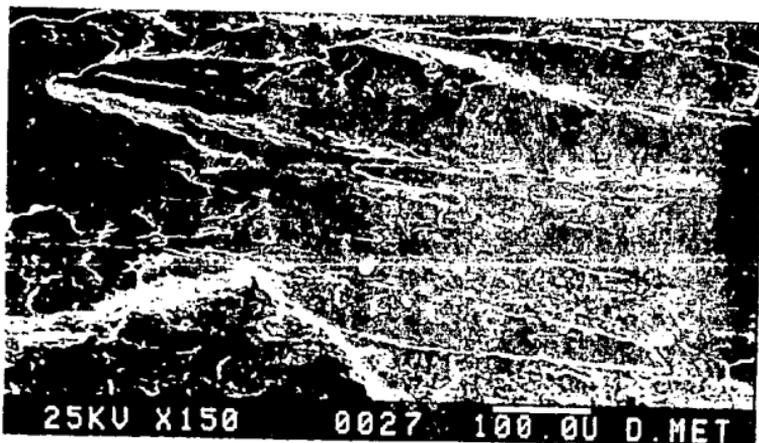
22.- Zonas bajo la superficie desgastada.
Aleación Electrolítica 90-10 sin tratamiento.
Zona altamente deformada y zona sin deformación.
Carga 450 g.



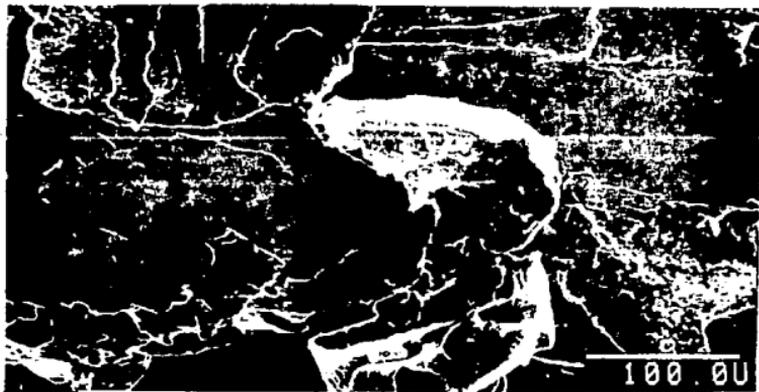
20.- Superficie Degastada. Regimen no severo.
Aleación electrolítica 73-27. Recocido I.
Crater y grietas.
Carga 450 g.



21.- Superficie Degastada. Regimen no severo.
Aleación Térmica 90-10 sin tratamiento.
Crater.
Carga 450 g.



23.- Superficie Desgastada. Regimen severo.
Aleación Térmica 90-10 sin tratamiento.
Carga 300 g.



24.- Superficie Desgastada. Regimen severo.
Aleación Térmica 90-10 sin tratamiento.
Carga 300 g.

V. D I S C U S I O N

V. DISCUSION.

V.1. Tratamientos Térmicos.

V.1.1. Efecto en la aleación Térmica.

Las estructuras de llegada en la aleación Pb-Cd 90-10 es una estructura dentritica, con segregaciones causadas por la lenta velocidad de denfriamiento. Al someterse a un tratamiento de recocido, la estructura tiende a homogenizarse. Por un lado las dentritas crecen y una vez establecido un recocido adecuado, la estructura dentritica tiende a desaparecer, emergiendo limites de grano, formando una estructura de granos poligonales. (Sec. Fot. II. fot. 10).

Esta transformación de fase, junto con la homogenización de la estructura, haciendo que desaparezcan las segregaciones causadas por la solidificación, podrian ser las causas por las cuales el desgaste disminuye con el recocido en esta aleación. El templado no desplaza la curva de desgaste de una manera notable y su factor de desgaste es mas alto que la aleación sin tratar, esto a 450 g. de carga. (fig. 12, 16 y 18) ya que el tiempo de permanencia en la mufla es sólo una hora y el rapido enfriamiento al cual es sometido evita la formación de los granos poligonales y tiene menos tiempo para homogenizarse. (Fotografía 9).

V.1.2. Efecto en las Aleaciones Electrolíticas.

En el caso de la aleación electrolítica Pb-Cd 90-10 depositada sobre el acero, hay diferencias notables en el desgaste con los tratamientos térmicos y la estructura cambió con los tratamientos térmicos, de una estructura metaestable en la cual el cadmio se encuentra como un soluto sobresaturado en el plomo (1), a una estructura eutéctica de granos poligonales. (fotografía 17). En el caso de la aleación Pb-Cd 73-27 con sustrato cobre no se notó un cambio microestructural, apreciable al microscopio óptico, debido a la poca duración de los tratamientos térmicos a los que fué sometida, pero se nota una disminución en la posición de las curvas de desgaste (fig. 13.). La diferencia del efecto de los tratamientos térmicos, en ambas aleaciones electrolíticas se podría deber al contenido más alto de cadmio que tienen las aleaciones con sustrato cobre.

El efecto de el tiempo de permanencia en mufla, sobre la microestructura se debe a que a temperaturas cercanas a la temperatura de fusión del eutéctico Pb-Cd (Ver diagrama fig. 23). La difusión puede actuar movilizandolos átomos de Cd y a medida que aumenta el tiempo de permanencia, los componentes tendrán mayor probabilidad de formar las fases presentes al equilibrio.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

También la difusión se encargará de disminuir las segregaciones existentes en la aleación.

Sin embargo esto no quiere decir que entre más largo es el tiempo de permanencia en la mufla, es mejor el tratamiento y mejoran las propiedades mecánicas, ya que un tiempo de permanencia excesivo, puede provocar otros fenómenos como el crecimiento de grano el cual disminuye las fronteras de los mismos y hace que no haya obstáculos para que el material fluya, abatiendo la dureza. Esto se traduce en pérdida de las propiedades mecánicas. Se puede ver en las fig. 20 y 21 que tiempos largos de permanencia, producen que la dureza baje y los factores de desgaste tiendan ligeramente a aumentar.

En ambas aleaciones electrolíticas existían muchos poros, pero estos son eliminados por los recocidos o por los normalizados con tiempos largos de permanencia en la mufla. La formación de poros puede deberse a la agitación a la cual el baño electrolítico es sometido. Esta es indispensable para asegurar que no existan problemas de difusión de los iones en la solución y evitar el empobrecimiento de la solución en la región cercana al cátodo. La agitación provoca la formación de burbujas de aire, o el arrastre de las burbujas que se forman en el ánodo por desprendimiento del oxígeno. Estas burbujas llegan al cátodo y pueden quedar atrapadas entre los cristales de la aleación que se

está depositando.

El hecho de presentar la aleación de una fase dura como el cadmio o el eutéctico Pb-Cd en una matriz suave rica en Pb, nos proporciona las características presentadas por las aleaciones resistentes al desgaste. (15). Las aleaciones electrolíticas tienden a disminuir su microdureza al ser sometidas a los tratamientos térmicos (fig. 19 y 21), pero su factor de desgaste no se incrementa, como podría esperarse, sino que varía en forma independiente. (fig. 18 y 20). En la ley de Archard podemos ver que el factor de desgaste es inversamente proporcional a la dureza:

$$V = K \frac{P}{S H}$$

Esto sería cierto siempre y cuando la constante K permaneciera sin variar, cuando variara la dureza, dando lugar a la creencia que un material duro es más resistente al desgaste. Sin embargo la constante K depende de las condiciones de las pruebas de desgaste y de la naturaleza de el material. Como se mantuvieron las condiciones de las pruebas constantes, al someter la aleación a los tratamientos térmicos, variaremos no solo la dureza, sino también el valor de esta constante. Al disminuir la dureza, si la constante aumenta o no cambia, obtendremos un aumento del factor de desgaste que es lo esperado, pero puede darse el caso que al disminuir la dureza, la constante disminuya

de tal modo que no se encuentre cambio alguno en el factor de desgaste. Si la constante disminuye mucho mas que la dureza, obtendremos una disminución del factor de desgaste, aún contra la creencia que debería aumentar con la disminución de la dureza. Al parecer este es el caso de las aleaciones electrolíticas, hasta cierto punto, ya que el factor de desgaste disminuye junto con la dureza, pero finalmente vuelve a aumentar con esta disminución, como lo predice la Ley de Archard, pero se puede deber a fenómenos como el crecimiento de grano. (fig. 20 y 21).

Un material duro por lo tanto no es mas resistente al desgaste que material blando, ya que este pueda tener la capacidad de absorber la energía producida en el contacto con la otra superficie, al deformarse y recuperarse, sin perder peso, mientras que un material duro, su tendencia es a sufrir un endurecimiento por trabajado mecánico y romperse perdiendo peso, por diversos mecanismos tales como fatiga, erosión, etc.

V.2.1. Regímenes de Desgaste.

Por lo observado durante las pruebas, podemos decir que el desgaste se presento en dos regímenes. El primero de ellos, presente en todas las pruebas y en las diferentes cargas, aunque de duración limitada en las pruebas de 450 g. de la aleación térmica sin tratamiento y en la templada. Este regimen se

caracterizó por la formación en el perno de un compuesto oscuro, correspondiente a un óxido de Plomo (ver fig. 22) PbO , que evita el desgaste excesivo. Además este régimen presenta desprendimiento de capas del material, debido a fisuras, formándose cavidades en las cuales se forma el PbO , que se desprende y adhiere al disco, dejando una huella oscura y evita la fricción.

Las pruebas en las que predomina este régimen, presentan una curva sin irregularidades ni escalones. Este corresponde a un régimen de desgaste no severo. Ejemplos de este son las pruebas hechas a la aleación térmica recocida a 450 g. de carga, las hechas a 150 g. y todas las practicadas a las aleaciones electrolíticas (fig. 9, 10, 13 y 15).

El segundo régimen corresponde a un régimen de desgaste severo. Este sólo se da en las aleaciones térmicas sin tratamiento y templadas, a cargas de 450 y 300 g. No aparece en la aleación térmica recocida ni en las electrolíticas. El material oscuro formado en el primer régimen es removido y empieza a haber un flujo plástico y "empastamiento" del material, gran deformación y acumulación de material en el borde del perno, que luego se desprende, haciendo perder mucho peso al perno. Hay severo desgaste abrasivo con acumulación e intercambio de material entre el perno y el disco, lo que provoca que deje un

rastro de apariencia brillante. También hay gran desprendimiento de partículas con bordes y filos que deben actuar como microherramientas de corte al contactar la superficie del perno en ángulos adecuados. En este caso no existe la formación de óxidos. (Ver fotografías 23 y 24).

Este régimen puede ser eliminado con tratamientos térmicos como el recocido. En las Aleaciones electrolíticas solo se presentó el primer régimen de desgaste no severo, aún a cargas de 450 g. Las curvas de desgaste que presentaron el segundo régimen son gráficas escalonadas (ver fig. 11 y 12). Ahora bien, observando las gráficas de carga contra factor de desgaste, podemos ver que en el caso de la aleación sin tratamiento térmico y en la templada obtenidas térmicamente, existe un gran incremento de los factores de desgaste al incrementar la carga, lo que nos indica que estamos en curvas típicas de dos regímenes de desgaste (Ver fig. 5 y comparar con la fig. 16).

En las aleaciones electrodepositadas y en la térmica recocida, los factores de desgaste no se incrementan tanto con la carga, por lo que estamos en curvas con un solo régimen de desgaste (fig. 17) que corresponde a el régimen de desgaste no severo, aún a cargas de 900 g que es el caso de la aleación Pb-Cd 73-27 con recocido I.

El regimen de desgaste severo presento factores de desgaste diez veces mayores que los del regimen no severo. La presencia de estos dos regimenes de desgaste, uno de ellos con un óxido y otro metálico, coincide con lo reportado para aleaciones Aluminio-Silicio. (5).

V.2.2. Regimen de Desgaste no Severo.

Observando con el microscopio de barrido los pernos donde predominó el regimen de desgaste severo, se encuentran en su superficies, grietas y cavidades por desprendimiento de placas de material, causadas por fatiga. En este regimen, el material no pierde mucho peso, debido a la formacion de el óxido PbO , que se encarga de formar una capa que evita que el perno entre en contacto con el disco. Esto disminuya la adhesión y sus efectos. El desprendimiento del óxido es en polvos muy finos, por lo que no provoca abrasión en un grado notable, además posee propiedades autolubrificantes, por lo que la abrasión por particulas desprendidas es minima.

Hay un intercambio de este óxido entre el disco y el perno, que se observa en la formación de un resto oscuro en el disco. Esto hace que la superficie del disco sea menos desgastante. Existen desprendimiento de las capas por fatiga debido a la nucleación y crecimiento de grietas que surgen a la superficie,

pero al desprenderse estas, se forman cavidades (ver fotografías 20 y 21), donde aparentemente se forma el óxido. Probablemente la formación del óxido se origine por calentamiento en las grietas por debajo de la superficie y al desprenderse las placas por fatiga, libera al óxido el cual hace su papel lubricante.

Los aspectos de la superficie sometidas a desgaste bajo este regimen, concuerdan con los mostrados en la referencia 3, con respecto a la exfoliación de placas por fatiga, y la acumulación de material por transferencia. En un corte transversal (fot. 22) podemos apreciar que existen zonas de desgaste típicas (6). La aparición de zonas altamente deformadas por debajo de la superficie, nos muestra grietas que se forman tal vez partiendo de los defectos como poros o impurezas, y que crecen paralelas a la superficie y a la dirección de desgaste. Después hay generación de nuevas grietas perpendiculares a las primeras, formando bloques. Estas emergen a la superficie, provocando el desprendimiento del bloque mismo, dejando una cavidad en la superficie. (fotografías 18 a 21).

A este mecanismo se le conoce como exfoliación por fatiga (3). Los principales mecanismos de desgaste en este regimen son: La fatiga, la formación de un óxido y en menor medida la adhesión.

V.2.3. Desgaste Severo.

En este regimen, hay ausencia del óxido, el desgaste ocurre con una gran transferencia de material entre el perno y el disco, observandose un rastro brillante en esta último, tornandose más abrasivo. La abrasión se debe a las propias partículas desprendidas que se quedan en el disco, las cuales son de mucho mayor tamaño que los polvos desprendidos en el regimen anterior y que tienen ángulos de corta que rasgan la superficie. éstas partículas se podrian soldar al disco, debido a calentamientos localizados.

La gran deformación y el flujo plástico presentado en este regimen, sugiere que la adhesión alcanza un gran valor, debido a que no hay un contaminante que la evite. Los bordes de material acumulado en el extremo contrario al perno a la dirección de desgaste son muy grandes. La fatigas en este regimen no parece tener tanta importancia como en el anterior y no se encuentran grietas ni capas desprendidas en las superficies. Los principales mecanismos que operan en este regimen son la adhesión con gran deformación plástica y la abrasión.

Hay una concordancia con las formas de las curvas de factor de desgaste-carga y lo encontrado para los regimenes de desgaste al microscopio electrónico de barrido. Las curvas que presentaron

un cambio de inflexión típicos de dos regimenes de desgaste, presentaron ambos regimenes, y las que eran lineales solo presentaron el primero, debido a que no rebasamos su carga de transición.

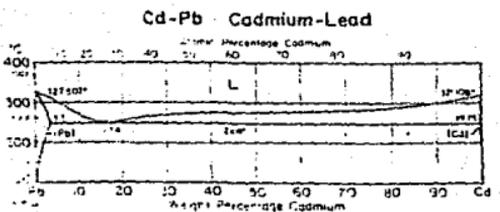


Fig. 23 Diagrama Pb-Cd.

VI. CONCLUSIONES

VI. CONCLUSIONES.

1.- Las condiciones óptimas de depósito es una densidad de corriente de 20 mA/cm². y el tiempo de depósito dependerá del espesor requerido. El baño electrolítico sufre un empobrecimiento del Pb para tiempos largos de depósito. Se recomienda regenerar la solución manteniendo las concentraciones de los componentes del baño constantes.

2.- Existe una influencia de los tratamientos térmicos en la propiedades al desgaste y en la microdureza. Los tratamientos térmicos bajan esta última y mejoran las propiedades al desgaste.

3.- Se presenta una transformación de fase en las aleaciones electrolíticas que mejora las propiedades al desgaste. Esta no es muy notable en tratamientos térmicos de poco tiempo de duración, pero se hace evidente en tratamientos térmicos largos, encontrándose una estructura muy cercana al equilibrio.

4.- El desgaste se lleva a cabo en dos regímenes con diferentes mecanismos para estas aleaciones. El régimen no severo, se caracteriza por la presencia de PbO y el régimen severo es de tipo metálico. Este segundo régimen puede eliminarse por tratamientos térmicos y no lo presentan las aleaciones electrolíticas.

5.- Por último, podemos decir que las aleaciones electrolíticas obtenidas tienen mejores propiedades al desgaste que la aleación térmica. Al aplicarles un tratamiento térmico, la diferencia disminuye, pero las aleaciones electrolíticas siguen teniendo mejores propiedades.

VII. BIBLIOGRAFIA.

VII. BIBLIOGRAFIA.

- 1.- J. Mancilla Prado. Electrodeposición de una aleación Pb-Cd a partir de Percloratos de Pb-Cd. Tesis. UNAM. F.Q. México 1988.
- 2.- A. D. Sarkar. Wear of Metals. Pergamon Press. Oxford. 1976.
- 3.- O. Vingsbo. Wear and Wear Mechanisms. The Am. Soc. of Mech. Eng. Wear of materials 1979. U.S.A.
- 4.- E. F. Finkin. Speculations on the theory of Adhesive Wear. Wear 1972. vol. 21. pag. 103.
- 5.- R. Shivanath, P. K. Sengupta, T. S. Eyre. Wear of Aluminium-Silicon Alloys. Wear of Mat. 1977. Int. Conf.
- 6.- W.A. Gleaser. Microstructures associated with Wear. (Proc. Conf.) Cleveland, Ohio, U.S.A. April 1983. Noyes Publications.
- 7.- T. Okada, Y. Iwai, Y. Hosokawa. Resistance to Wear and Cavitation Erosion on Bearing Alloys. J.S.L.E., Int. Trib. Conf. Vol II (proc. conf.) Tokio, Japan 1975.
- 8.- J.F. Archard. Contac and Rubbing of Flat Surfaces. J. Appl. Phys. 1953. vol. 24. pag. 981.
- 9.- D. Eyre, D. R. Gabe, D. R. Eastham. Electrodeposition of Cadmium Lead Alloys I. Fluosilicate Electrolytes. Trans. Inst. Met. Fin. Autum 1984. vol. 62 (3), pag. 113.
- 10.- D. Eyre, D. R. Gabe, D. R. Eastham. Electrodeposition of Lead Cadmium Alloys. Fluoborate Electrolytes. Plat. Surf. Fin. April 1985. vol. 72(4), pag. 74.
- 11.- D. Eyre, D. R. Gabe, D. R. Eastham. Electrodeposition of Cadmium Lead Alloys III. Sulfamete and Citrate-Acetate electrolites. Trans. Met. Fin. May 1985. vol. 63(1), pag. 22.
- 12.- E. D. Kochman, R. L. Krautsova, O. V. Chesnokova. Electrolytic Plating of Cadmium Alloy. (patente) U.S.S.R. 213,508. 1976.
- 13.- A. G. Kondradova, N. M. Dashko, V.L. Pokhanski. Solution for Electrodeposition of Tin-Lead-Cadmium alloy. (patente) U.S.S.R. 586,204/1821. 1977.

- 14.- R. Butterfield and G. C. Atkinson. Bearings with Lead-Cadmium alloy electroplates. (patente). Brit. 1.353,149. 1974.
- 15.- C. Chaussin, G. Hilly. Metalurgia Tomo I. Ediciones URMO S.A. Bilbao 1975.
- 16.- R. A. Higgins. Ingenieria Metalurgica. Tomo I. C.E.C.S.A. Mexico 1963.
- 17.- Metal Handbook. Vol.8. Metallography, Structures and Phase Diagrams. Ame. Soc. for Met. Eight Edition. 1973.
- 18.- F.A. Lowenheim. Modern Electroplating. 3a. Edition. Jhon Wiley and Sons Inc. U.S.A. 1974.
- 19.- John L. Bray. Metalurgia Extractiva de los Metales no Ferrosos. Ediciones Interciencia. Madrid. 1962.
- 20.- V. M. Demitrovich, E. D. Kochman, G. J. Zaidemstheim. Antifriccion propities of some electroplates. Sovrem Metody Zashchity, Met. OT. Karrozii. Saratov. Vol 93. pag. 11 1979.
- 21.- T. Okada, Y. Iwai. Resistance to the Damage Caused by the Joint Action of Cavitation Erosion and Sliding Wear on Bearing Alloys. Jour. of the Soc. of Trib. and Lub. Eng. Vol. 44, I, pag.61 1986.