

19  
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DESGASTE DE COMPOSITOS AI-SiC OBTENIDOS  
POR EL METODO DE BURBUJEO

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO  
P R E S E N T A I  
FRANCISCO JAVIER SANCHEZ ROSAS



MEXICO, D. F.

1992

FALLA DE ORIGEN



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

Indice.	3
I. Introducción.	4
II. Revisión bibliográfica.	5
II.1. Desgaste.	5
II.2. Fracturas tribológicas y mecanismos de desgaste.	7
II.3. Tipos de desgaste.	9
II.3.1. Desgaste adhesivo.	9
II.3.1. Desgaste abrasivo.	11
II.3.1. Desgaste por fatiga.	11
II.3.1. Desgaste erosivo.	12
II.3.1. Desgaste vibracional.	13
II.4. Pruebas de desgaste.	13
II.4.1. Máquinas de desgaste.	13
II.4.2. La curva de desgaste.	15
II.4.3. Curva factor de desgaste-carga.	16
II.5 Alcance y aplicación de los resultados de desgaste.	17
II.5.1. Antecedentes	18
II.6 Compósito Al-SiC.	19
II.6.1. Fabricación del compósito estudiado	20
III. Método experimental.	20
III.1. Hipótesis.	20
III.2. Método experimental.	20
IV. Resultados.	21
IV.1. Ensayo de desgaste.	21
IV.2. Metalografía.	22
IV.3. Observaciones.	22
IV.4. Fotografías y gráficas.	23
V. Conclusiones.	35
VI. Bibliografía.	36

## I N D I C E

Indice.	3
I. Introducción.	4
II. Revisión bibliográfica.	5
II.1. Desgaste.	5
II.2. Fracturas tribológicas y mecanismos de desgaste.	7
II.3. Tipos de desgaste.	9
II.3.1. Desgaste adhesivo.	9
II.3.1. Desgaste abrasivo.	11
II.3.1. Desgaste por fatiga.	11
II.3.1. Desgaste erosivo.	12
II.3.1. Desgaste vibracional.	13
II.4. Pruebas de desgaste.	13
II.4.1. Máquinas de desgaste.	13
II.4.2. La curva de desgaste.	15
II.4.3. Curva factor de desgaste-carga.	16
II.5 Alcance y aplicación de los resultados de desgaste.	17
II.5.1. Antecedentes	18
II.6 Compósito Al-SiC.	19
II.6.1. Fabricación del compuesto estudiado	20
III. Método experimental.	20
III.1. Hipótesis.	20
III.2. Método experimental.	20
IV. Resultados.	21
IV.1. Ensayo de desgaste.	21
IV.2. Metalografía.	22
IV.3. Observaciones.	22
IV.4. Fotografías y gráficas.	23
V. Conclusiones.	35
VI. Bibliografía.	36

## I. introducción.

Entre las aleaciones de uso industrial se encuentran las aleaciones: Fe-C (aceros y fundiciones), aleaciones base cobre, aluminio, plomo, cinc, níquel, etc. De estas las más usadas son las de Fe-C que a lo largo del tiempo han mostrado una gran versatilidad en cuanto a propiedades. Sin embargo estas aleaciones presentan dificultades como, alta densidad y procedimiento costoso para obtenerlas con buenas propiedades anticorrosivas. En los últimos años se ha notado la tendencia de sustituir estas aleaciones por otras como el aluminio o algunas de sus aleaciones. Pero estas no han logrado, para muchos casos, obtener las propiedades mecánicas que han hecho de las aleaciones Fe-C insustituibles.

Los compósitos son un grupo de materiales que se han propuesto con el fin de obtener mejoras en la resistencia al desgaste por la adición de partículas duras en una matriz blanda, estos materiales son un intento por combinar las propiedades de interés de cada componente por separado, así como anular o disminuir sus propiedades no deseables.

El interés de este trabajo es probar la hipótesis de que el material compuesto Al-SiC obtenido por el método de burbujeo tiene mejor resistencia al desgaste que el componente de la matriz (Al) sin las partículas de carburo de silicio.

Para este fin se propone un procedimiento mediante el cual se evalúa la resistencia al desgaste del material a distintas composiciones, esto permite además establecer el mecanismo por el que ocurre el régimen de desgaste.

## II. Revisión bibliográfica

Con el fin de introducir la terminología y los conceptos básicos utilizados en desgaste, se presenta el siguiente resumen, que consiste en la definición del fenómeno de desgaste, los principales mecanismos que intervienen en éste, los tipos de desgaste más comunes, maquinas y pruebas de desgaste, así como las curvas y resultados esperados. Posteriormente se presenta una breve reseña sobre el método de obtención del compuesto.

### II.1 Desgaste.

Un sistema tribológico esta formado por dos o más cuerpos en contacto superficial dinámico 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 (7) las diversas definiciones de desgaste no son muy adecuadas, debido a que no abarcan toda la complejidad de este fenómeno. Una definición aceptada 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. Otra definición aceptada por la norma ASTM G40-88 es: El daño ocurrido en la superficie del sólido, que generalmente involucra perdidas progresivas de material, debido al movimiento relativo entre las superficies de los cuerpos en 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 otro es compleja (8), como se muestra en la figura siguiente.

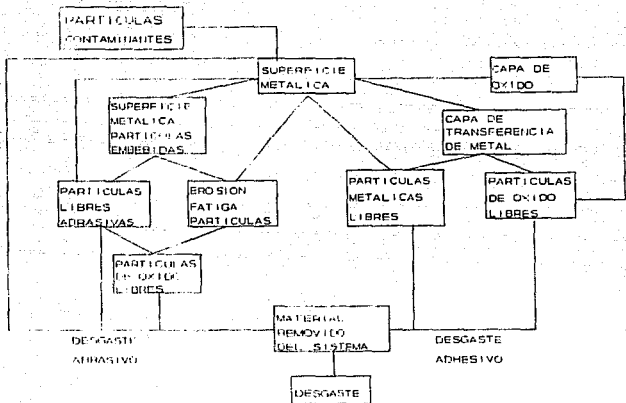


Figura 1. Esquema simplificado representando la relación entre varios procesos de desgaste.

El desgaste sigue una relación simple, llamada relación de Archard (9) que se expresa como:

$$K = V/S = W \cdot P/H \quad (1)$$

donde K 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 W es una constante que dependerá del material y de las condiciones de la prueba. Esta constante, según el mecanismo 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 términos que involucra la relación son conocidos.

## II.2 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 los sólidos entran en contacto, esto ocurre sólo en las asperezas. Bajo una carga aplicada, y 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 las teorías de adhesión. Los contactos atómicos con o sin contaminantes de la superficie admiten fuerzas de cohesión para crear uniones entre las partes del tribolismo. En movimiento deslizante, las uniones son continuamente deformadas, cortadas plásticamente y fracturadas, produciendo el desprendimiento de material y consecuentemente el desgaste. 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. Éste es el mecanismo de adhesión presente en el desgaste.

Otro de los mecanismos que producen fractura y pérdida de material es el microcorte. Si una aspereza dura o partículas se deslizan sobre la superficie de un material blando, bajo condiciones 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.

Otro 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 de 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 puede 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 adsorbidos por sobrecalentamiento, y la ruptura de la capa de óxido cuando el esfuerzo normal es alto expone al metal incrementando el desgaste.

### II.3 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 interactuar 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.3.1 Desgaste adhesivo.

En este, la interacción ocurre bajo pequeñas amplitudes de carga. Se caracteriza por la formación y fractura de uniones adhesivas. 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 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. En la siguiente figura se muestra el mecanismo de desgaste por adhesión.

El desgaste adhesivo se puede expresar como:

$$V = Z \cdot A \cdot S \quad (2)$$

Donde Z es el número de átomos removido por encuentro, A es el área total, V el volumen removido y S es la distancia recorrida. Pero esa área total se relaciona con la carga como sigue:

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

Donde P es la carga y  $\sigma$  la tensión de fluencia del material

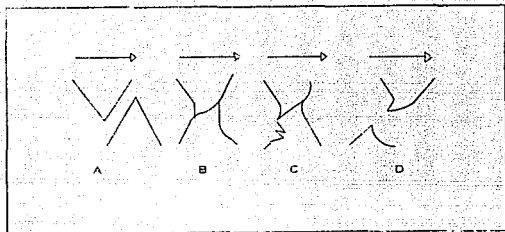


Figura 2. Formación, deformación y fractura de una unión adhesiva.

blando. Sustituyendo en (2) obtenemos:

$$V/S = Z \cdot P / \sigma \quad (4)$$

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

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

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. (1).

$$V/S = 3 \cdot Z \cdot P / H \quad (6)$$

### II.3.2 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 se considera 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.(1).

$$V/S = \beta * P/H \quad (7)$$

Donde  $\beta$  es el término que contiene las consideraciones geométricas del modelo.

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

$$R_1/R_2 = A*H/P \quad (8)$$

Donde  $R_1$  es la resistencia al desgaste de un material usado como referencia,  $R_2$  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.3.3 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 la de un dado rodante en contacto, 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 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" (7).

#### II.3.4 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. Los sistemas tribológicos erosivos son también llamados sistemas de desgaste de tres cuerpos. Un cuerpo es la superficie expuesta, las partículas un contacto momentáneo con la superficie representan el segundo cuerpo. El medio el cual transfiere la carga sobre el segundo cuerpo, es considerado como el tercer cuerpo.(7).

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.3.5 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.

#### II.4 Pruebas de desgaste.

##### II.4.1 Máquinas de desgaste.

Al revisar la literatura publicada se observa que cada autor emplea en su laboratorio una maquina de desgaste y procedimiento diferente. Es reconocido y comprobado que el ensayo más informativo sobre el desgaste de piezas de máquinas se obtiene únicamente cuando se les somete a condiciones normales de funcionamiento. Los ensayos abreviados de desgaste, realizados en el laboratorio, tienen sólo un valor comparativo, pero su realización es imprescindible como un método de control para materiales en los que la propiedad de resistencia al desgaste es primordial. (6).

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, esta prueba ha sido normalizada con la denominación de ASTM G 83-89, en el presente trabajo se utiliza un aparato y procedimiento análogo al descrito en esta norma, en este 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 pesando el perno con una balanza analítica. 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 estrictas de limpieza.

La figura 3. se describe el dispositivo espiga-disco.

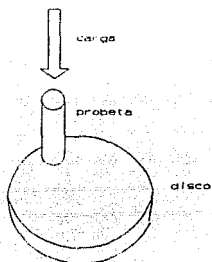


Figura 3. Máquina de desgaste espiga-disco.

Existen algunas máquinas estandarizadas para diversas pruebas, como la máquina de bloque sobre anillo (ASTM G 77-83), algunas para cintas de abrasivos como la ASTM G 75-82, o la ASTM D2625-83 que es para probar ciertos materiales, o capas de líquido y no existen condiciones estandares generales para desgaste de materiales, como las hay para otras pruebas mecánicas, esto es debido, como ya se menciona, a que la información más útil de las pruebas se obtiene cuando estas simulan lo más cercano posible las condiciones reales. Por lo tanto al presentar valores de desgaste, se deben dar las condiciones a las cuales la prueba fue realizada.

#### II.4.2 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 Figura 4. El punto 0 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 A0, y AB es el estado estable, que es usado para encontrar el factor de desgaste de un material, dependiendo de la naturaleza de la otra superficie.

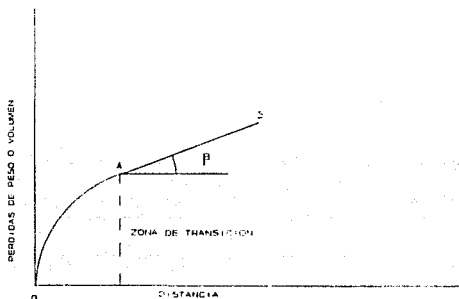


Figura 4. Curva típica de desgaste.

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 del 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 esta gobernado por un gran número de factores interrelacionados.

#### II.4.3 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 contra la carga. Para bajas cargas, hay un régimen 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 ordenes de magnitud. Posteriormente se incrementa la carga, la curva se estabiliza, entrando a una zona donde el factor de desgaste vuelve a tener ordenes 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 regímenes de desgaste. Una curva típica de puede ver en la siguiente Figura 5.

No necesariamente un material puede presentar sólo dos regímenes , 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 figura 3, donde los diferentes regímenes corresponden a los diferentes óxidos formados.

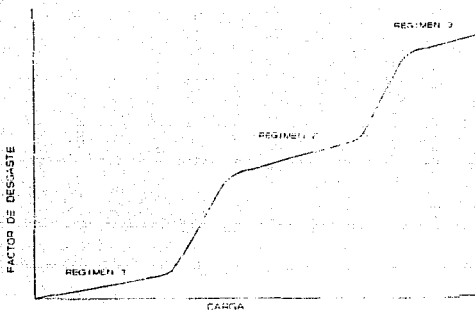


Figura 5. Curva típica factor de desgaste vs. carga.

## II.5 Alcance y aplicación de los resultados de desgaste.

Con frecuencia hay una discrepancia aparente entre los estudios teóricos y experimentales sobre la razón de desgaste en metales y materiales y en la aplicación de estos resultados a las situaciones industriales. Esto no es necesariamente así y lo que se busca es que haya concordancia entre ambos criterios.

En ciertos sectores profesionales existe un escepticismo comprensible respecto a aprovechar los datos de laboratorio para el trabajo de diseño cuando se utilizan los distintos tipos de maquinas de desgaste. Para evitar esto se ha intentado elaborar modelos empíricos, como el modelo de desgaste IBM (2), con el que se pretende obtener expresiones empíricas para la geometría específica que se puedan aplicar en el trabajo de diseño.

El modelo IBM es quizá valioso porque proporciona datos para casos individuales, pero no debe menospreciarse la utilidad de los estudios de laboratorio en los que se emplean espigas-discos y otras configuraciones por el panorama general que ofrecen para

comprender los procesos básicos de desgaste en los metales.

Sin duda hay ciertas lagunas entre lo que es la investigación y la aplicación de los resultados, que poco a poco irán disminuyendo al intercambiar investigadores y fabricantes o usuarios sus experiencias.

#### II.5.1. Antecedentes.

Es difícil comparar los resultados publicados por distintos investigadores, debido a que las condiciones a las que se realizaron las pruebas no son informadas o difieren significativamente de otras presentadas. Las pruebas de desgaste no se han estandarizado adecuadamente, y existen cientos de diferentes pruebas, que difieren en el dispositivo, procedimiento o condiciones de prueba utilizados. Muchos de estos dispositivos han sido diseñados para simular lo más cercano posible las condiciones reales a las cuales se sujetará el material, lo que ha dado lugar a un número muy grande de pruebas con especificaciones muy particulares dependiendo de la aplicación del material.

#### II.6 Compósito Al-SiC

El estudio de las propiedades mecánicas de los nuevos materiales es de gran importancia tecnológica, debido a que estos harán o no posible la sustitución de los materiales tradicionalmente utilizados ya sea a que los nuevos materiales tengan mejores cualidades mecánicas o al menos las mismas y otras propiedades que le den mayores ventajas así como un menor costo de producción.

Un compuesto se puede definir (10) como una mezcla o combinación de dos materiales de características diferentes que son sólidos en su estado final, mutuamente insolubles y difieren en naturaleza química, los cuales adquieren propiedades determinadas por las

cantidades relativas de cada componente.

Materiales tales como el aluminio y el magnesio y sus respectivas aleaciones, los cuales se caracterizan por ser muy livianos pero que carecen de algunas propiedades mecánicas de otros materiales como el acero y el bronce fueron objeto de estudio y se descubrió que al adicionarles fibras o partículas, de materiales cerámicos o metálicos tales como el grafito, carburo de silicio, alumina, acero, etc., mejoraban en algunas de sus propiedades considerablemente, con lo que pudieron obtenerse materiales a partir de estos metales, los cuales siendo mucho más livianos contaban con las propiedades requeridas para usos más pesados que los tradicionalmente aplicados a esos metales.

Los compósitos Al-SiC consiste en partículas o fases duras de SiC embebidas en una matriz suave de aluminio o aleación base aluminio. Las fases duras reciben la carga y resisten la abrasión, mientras que la matriz proporciona el medio de sujeción así como una plasticidad adecuada. Este tipo de compósitos han demostrado tener una gran aplicación en la industria debido principalmente a las cualidades de resistencia a la deformación tanto plástica como elástica así como al desgaste por fricción y abrasión. Sin embargo su fabricación es complicada y de costo elevado, por lo que es todavía un punto de investigación.

#### II.6.1. Fabricación del compósito estudiado.

En el presente trabajo se ha utilizado un compósito Al-SiC obtenido por medio de un método en investigación, que consiste básicamente en burbujear gas argón en el aluminio líquido para lograr que las partículas de carburo de silicio se incorporen de una manera homogénea en la matriz de aluminio, los detalles de este método quedan fuera del alcance de este trabajo, concentrándose la atención sólo a lo concerniente a su comportamiento frente al desgaste, pues es una de las propiedades de las cuales se espera sea de una importancia relevante.

### III. Método experimental.

#### III.1 Hipótesis.

El compósito Al-SiC obtenido por el método de burbujeo con gas argón presentan mejores propiedades de resistencia al desgaste que el material de la matriz, en este caso aluminio puro comercial.

#### III.2 Procedimiento experimental.

Para probar esta hipótesis se utilizó el siguiente método experimental :

Las probetas que se utilizaron para las pruebas de desgaste fueron de forma cilíndrica de 6.35 mm de diámetro por 15 mm de largo, se utilizó como matriz aluminio puro comercial y cada prueba se hizo por duplicado para las siguientes composiciones: 0%, 5%, 10%, 15% y 20% en volumen de partículas de carburo de silicio malla 120 (0.124 mm), para las cargas de 1.64, 3 y 4.64 Kg. Se tomó, después de remover el borde de la probeta deformada, la diferencia de peso en una balanza analítica por intervalos de tiempo de una hora. La máquina de desgaste consta de motor eléctrico de 1/4 Hp conectado a un sistema de engranes de transmisión que hace girar el disco de acero norma SAE 4140 templado y revenido a una dureza homogénea de 53 HRC cuya superficie está pulida. La velocidad del motor se regula por medio de un reóstato y se estabilizó para estas pruebas a 140 rpm. Las probetas se sostienen en un brazo que a la vez sostiene la carga. Durante la prueba no se agregó ninguna sustancia como lubricantes, ni se removieron los fragmentos debidos al desgaste hasta concluida la prueba. La distancia del centro del disco a la probeta fue de 5 cm y se trabajó a temperatura ambiente. El dispositivo se presenta en la figura 6.

### IV. Resultados

#### IV.1. Ensayo de desgaste.

Con los datos obtenidos se gráfica la distancia recorrida vs. las pérdidas de peso, suponiendo el comportamiento de la curva de la

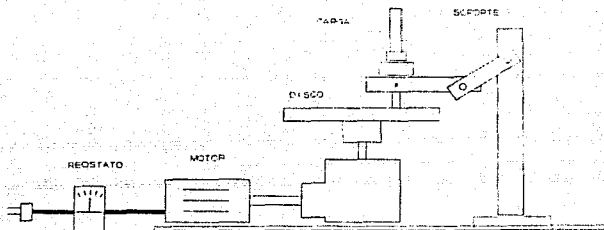


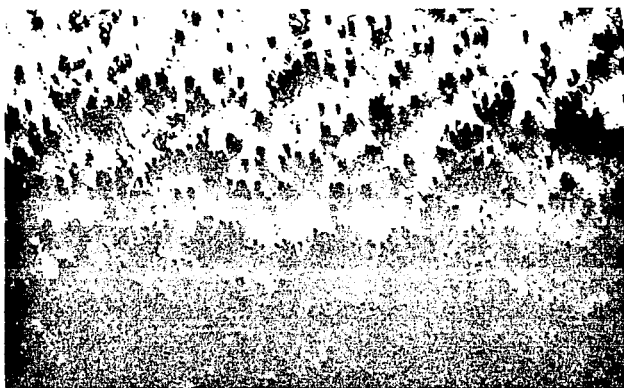
Figura 6. Dispositivo utilizado para la prueba de desgaste.

figura 4, de estas gráficas se obtienen, las pendientes, factores de desgaste o coeficientes de desgaste que representa la constante  $K$  de la ecuación (1), estos coeficientes avalúan directamente la resistencia al desgaste y a su vez son graficados a distintas cargas y composiciones para evaluar las condiciones a las cuales ocurrió el desgaste.

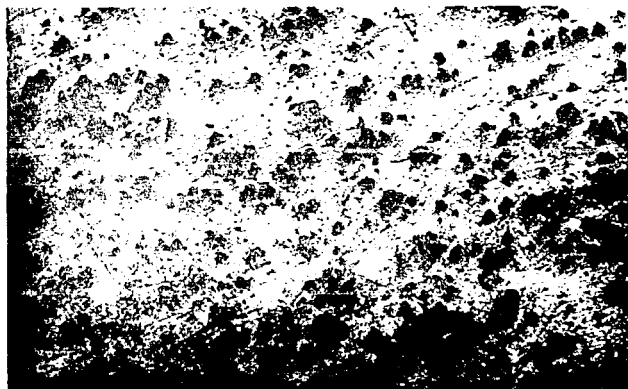
Los resultados se presentan gráficamente, primero las curvas pérdidas de peso vs. distancia recorrida, para cada carga a distintas composiciones. Después se presentan las gráficas coeficiente de desgaste ( $k$ ) vs. carga para cada composición. Por último se presenta el gráfico de coeficiente de desgaste vs. composición a distintas cargas.

#### IV.2. Metalografía.

Después del ensayo de desgaste se obtuvo la metalografía de las probetas con el objeto de verificar composición y distribución de las partículas en el compuesto, a continuación se presentan las fotografías y las condiciones a las cuales se obtuvieron.



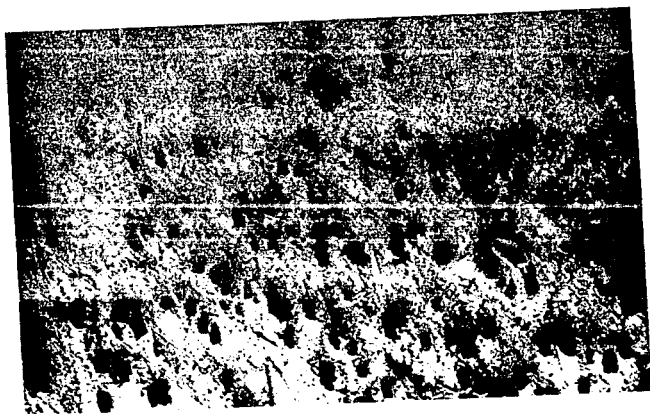
Fotografía 1. Al-20%SiC, sin ataque, 50X.



Fotografía 2. Al-20%SiC, sin ataque, 100X.



Fotografía 3. Al-15SiC, sin ataque, 500x.



Fotografía 4. Al-15SiC, sin ataque, 100x.



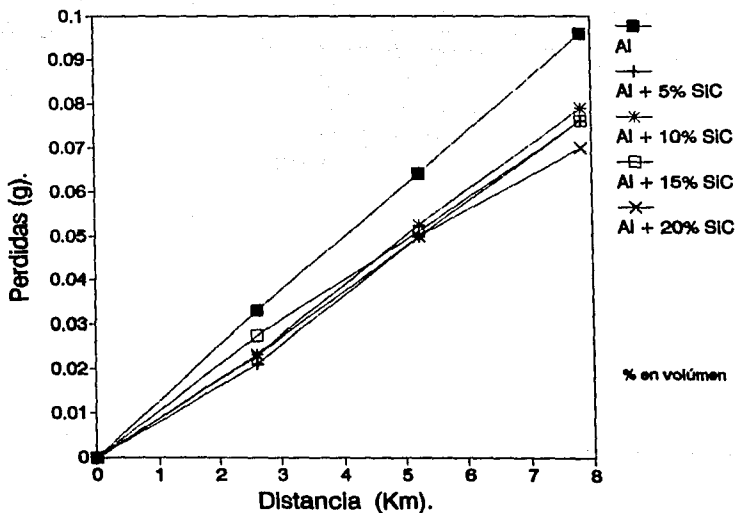


Fotografía 5. Al-10%SiC, sin ataque, 100x.



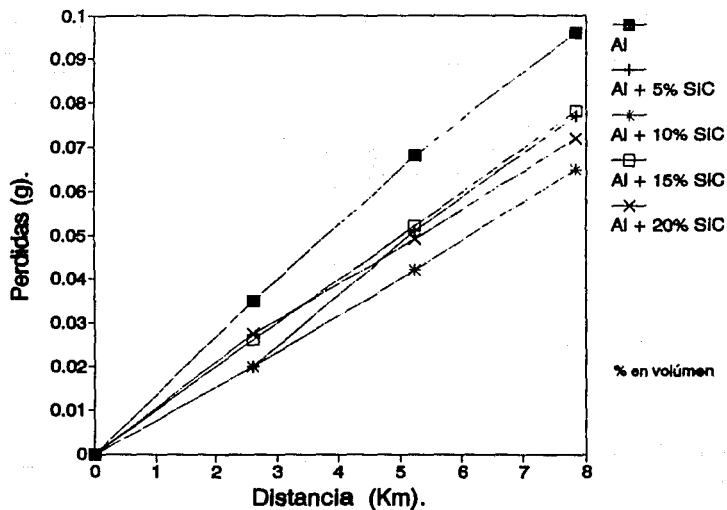
Fotografía 6. Al-5%SiC, sin ataque, 100x.

**Perdidas de peso vs. distancia  
a una carga constante de 1.64 Kg**



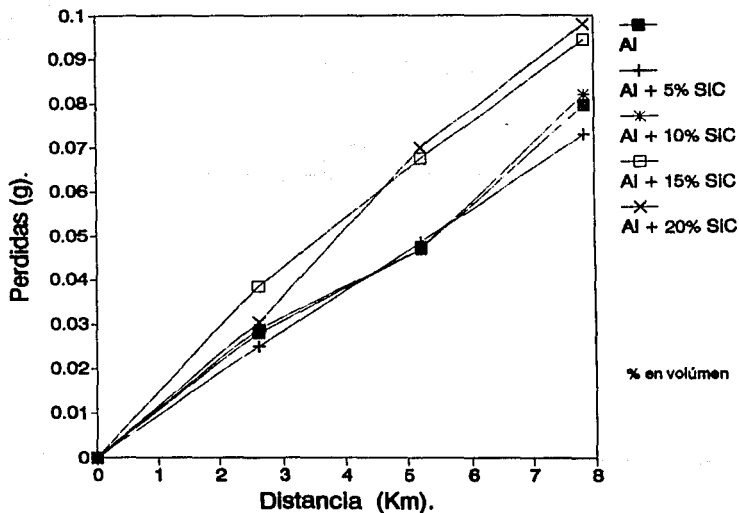
Primera prueba

**Perdidas de peso vs. distancia  
a una carga constante de 1.64 Kg**



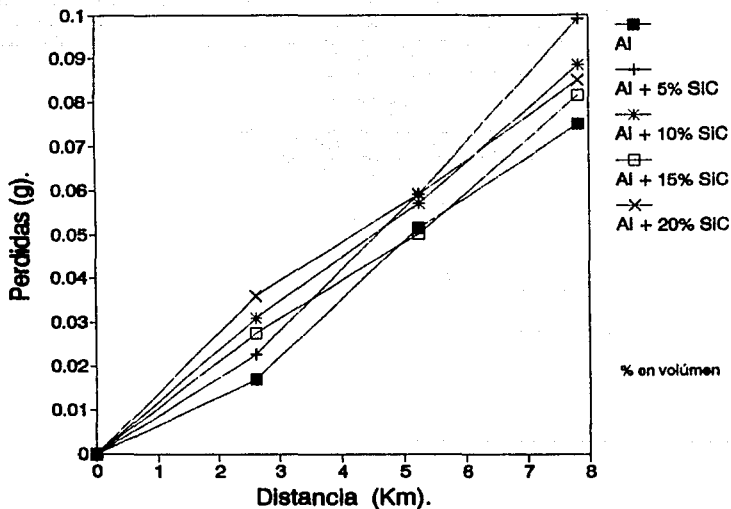
**Segunda prueba**

**Perdidas de peso vs. distancia  
a una carga constante de 3 Kg**



**Primera prueba**

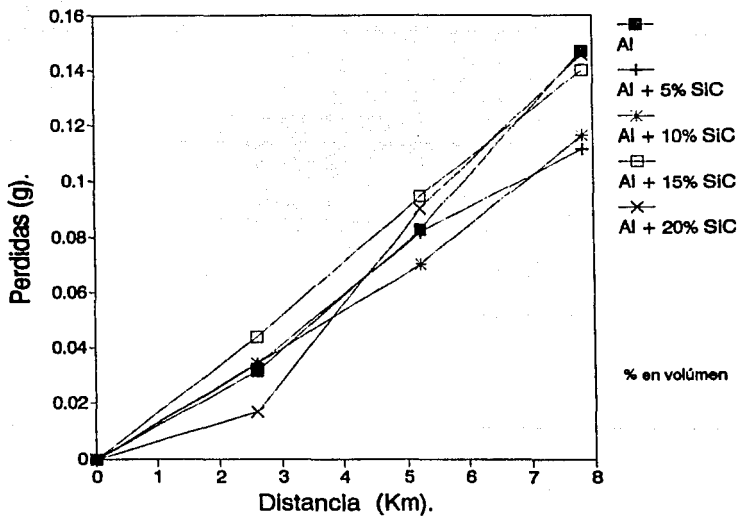
**Perdidas de peso vs. distancia  
a una carga constante de 3 Kg**



Segunda prueba.

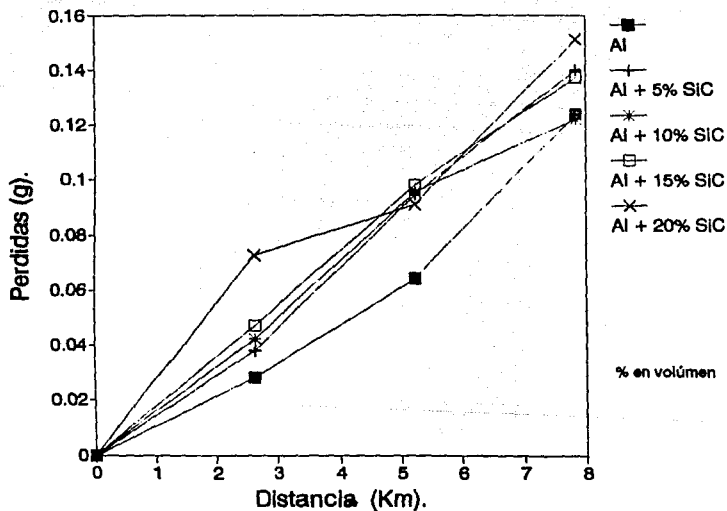
ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Perdidas de peso vs. distancia  
a una carga constante de 4.64 Kg



Primera prueba

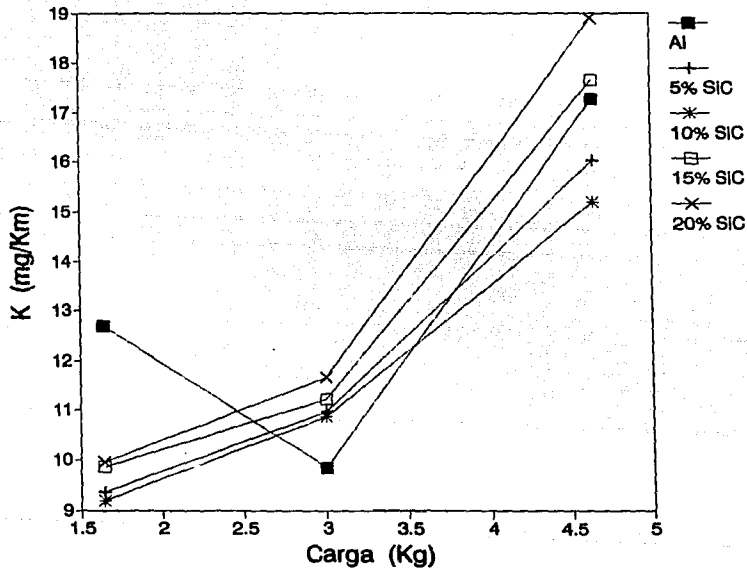
Perdidas de peso vs. distancia  
a una carga constante de 4.64 Kg



% en volúmen

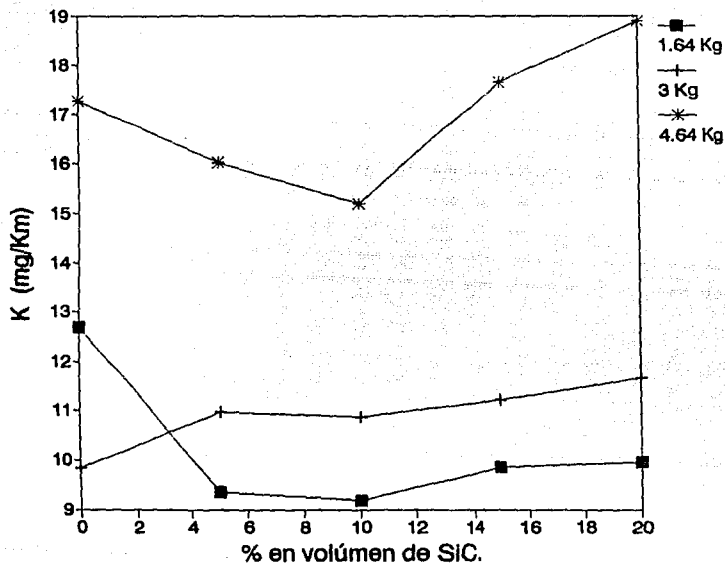
Segunda prueba

Carga vs. coeficiente K.





Composición vs. coeficiente K.



#### IV.3. Observaciones.

De las metalografías obtenidas se observa una distribución homogénea de partículas de carburo de silicio, así como la cantidad de las mismas representativa de sus composiciones, y no se observaron porosidades.

Para las gráficas, pérdidas de peso vs. distancia recorrida es importante observar las pendientes, es decir el coeficiente de desgaste K, y sus cambios, pues aunque algunas probetas muestran mayor pérdida de peso acumulada esta puede deberse a un proceso transitorio de acoplamiento de áreas en contacto, durante el inicio del ensayo.

Para las primeras gráficas, de 1.64 kg de carga se observaron pendientes estables que disminuyen para 5 y 10% en volumen de carburo de silicio, y aumentan para 15 y 20% además de presentar variaciones, lo que indica una disminución en la resistencia al desgaste para 5 y 10% de SiC en volumen.

Las siguientes gráficas, a 3 kg de carga, las variaciones de la pendiente (coeficiente de desgaste K) son mayores, en está se presenta una mayor resistencia al desgaste para el 5% de carburo de silicio, presentando además el 10% de carburo de silicio y el aluminio sin carburo resistencia al desgaste similar. Las composiciones de 15 y 20% de carburo de silicio presentan la menor resistencia al desgaste además de presentar variaciones marcadas de pendientes.

Las últimas gráficas de pérdidas de peso contra distancia recorrida a una carga de 4.64 kg presenta un aumento en la resistencia al desgaste para el 5% de carburo de silicio y una resistencia similar para los contenidos de 10 y 15%, disminuyendo para 20% además de presentar, variaciones muy bruscas en la pendiente.

En general se presenta un máximo de resistencia al desgaste entre 5 y 10% de contenido en volumen de carburo de silicio. Aunque en este trabajo se ha tomado como referencia la pérdida de peso para evaluar el desgaste debe notarse que el cambio de volumen para concentraciones de 15% y 20% o más es significativamente importante ya que el carburo de silicio tiene una densidad superior a la del

#### IV.3. Observaciones.

De las metalografías obtenidas se observa una distribución homogénea de partículas de carburo de silicio, así como la cantidad de las mismas representativa de sus composiciones, y no se observaron porosidades.

Para las gráficas, pérdidas de peso vs. distancia recorrida es importante observar las pendientes, es decir el coeficiente de desgaste K, y sus cambios, pues aunque algunas probetas muestran mayor pérdida de peso acumulada esta puede deberse a un proceso transitorio de acoplamiento de áreas en contacto, durante el inicio del ensayo.

Para las primeras gráficas, de 1.64 kg de carga se observaron pendientes estables que disminuyen para 5 y 10% en volumen de carburo de silicio, y aumentan para 15 y 20% además de presentar variaciones, lo que indica una disminución en la resistencia al desgaste para 5 y 10% de SiC en volumen.

Las siguientes gráficas, a 3 kg de carga, las variaciones de la pendiente (coeficiente de desgaste K) son mayores, en está se presenta una mayor resistencia al desgaste para el 5% de carburo de silicio, presentando además el 10% de carburo de silicio y el aluminio sin carburo resistencia al desgaste similar. Las composiciones de 15 y 20% de carburo de silicio presentan la menor resistencia al desgaste además de presentar variaciones marcadas de pendientes.

Las últimas gráficas de pérdidas de peso contra distancia recorrida a una carga de 4.64 kg presenta un aumento en la resistencia al desgaste para el 5% de carburo de silicio y una resistencia similar para los contenidos de 10 y 15%, disminuyendo para 20% además de presentar, variaciones muy bruscas en la pendiente.

En general se presenta un máximo de resistencia al desgaste entre 5 y 10% de contenido en volumen de carburo de silicio. Aunque en este trabajo se ha tomado como referencia la pérdida de peso para evaluar el desgaste debe notarse que el cambio de volumen para concentraciones de 15% y 20% o más es significativamente importante ya que el carburo de silicio tiene una densidad superior a la del

aluminio puro comercial, ya que si los datos se presentan en pérdidas de volumen los resultados seguramente diferirían a los presentados para los altos contenidos de carburo de silicio.

La gráfica carga vs. coeficiente de desgaste K, muestra claramente que los contenidos de 5 y 10% en volumen de carburo de silicio, presentan para todas las cargas la máxima resistencia al desgaste y para los contenidos de 15 y 20% presentan una mejor resistencia al desgaste solo a cargas inferiores de 3 kg.

Una disminución notoria en el coeficiente de desgaste para el aluminio puro comercial, a una carga de 3 kg es debido a que bajo esta carga, el material presenta una mayor deformación y por lo tanto el área de contacto aumenta y la carga efectiva por unidad de área disminuye, lo que aumenta aparentemente la resistencia al desgaste.

Debido a que el comportamiento del material es fluctuante en cuanto a su coeficiente de desgaste, este se ha tomado como la media aritmética de las dos pruebas realizadas para cada composición.

La gráfica composición vs. coeficiente de desgaste muestra las composiciones en las cuales se presenta una mayor resistencia al desgaste, esto ocurre para: el 5% a 1.46 kg y 4.64 kg de carga, entre 5 y 10% a 3 kg de carga. Los contenidos de 15 y 20% a una carga superior de 3 kg llegan incluso a tener menor resistencia al desgaste que el aluminio puro comercial. Además en esta gráfica puede también notarse el aumento de resistencia al desgaste para el aluminio puro comercial a una carga de 3 kg.

## V. Conclusiones.

1. Los compósitos estudiados en este trabajo presentan una resistencia al desgaste de hasta un 28.% superior al aluminio puro comercial, esto ocurre para un contenido de carburo de silicio del 10% en volumen y una carga de 3 kg.

2. La máxima resistencia al desgaste para todas las cargas se presentan para las composiciones de 5 y 10% de carburo de silicio en volumen.

3. El aluminio puro comercial presenta una marcada deformación a una carga de 3 kg, lo que aparenta una disminución en su coeficiente de desgaste.

4. La adición de carburo de silicio al aluminio puro comercial, le da una cierta dificultad para deformarse plásticamente, esto evita la acumulación de material deformado en el borde de las probetas durante el ensayo.

5. Los cambios bruscos del coeficiente de desgaste al aumentar los contenidos de carburo de silicio se deben a la disminución de la plasticidad de la matriz de aluminio y por una disminución en la retención del carburo de silicio, lo que provoca pérdidas repentinas de material.

6. La adición de altos contenidos de carburo de silicio, disminuye la resistencia al desgaste, llegando a ser incluso menor al del aluminio sin carburo.

## VI. Bibliografía.

1. A. D. SARKAR, WEAR OF METALS, PERGAMON PRESS OXFORD, 1976.
2. BAYER R G, CLINTON W C, NELSON C W Y SCUMACHER R A, WEAR, (1962), 5, 378.
3. NORMAS ASTM: G40-88, G83-83, G77-83, G75-82.
4. AGUILAR ORTIZ JULIO A., OBTENCION DE UN COMPOSITO, TESIS 1990, FACULTAD DE QUIMICA, UNAM.
5. ARGANIS JUAREZ CARLOS R., PROPIEDADES AL DESGASTE DE UNA ALEACION ELECTROLITICA Pb-Cd, TESIS 1989, FACULTAD DE QUIMICA, UNAM.
6. TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS, WANKE KLAUS & SCHRAMM KLAUS. Edt. AGUILAR, 1979, BARCELONA.
7. O. VINGSBO, WEAR AND WEAR MECGANISMS. THE AME. SOC. OF MECH, ENG. WEAR OF MATERIALS, 1976, U.S.A.
8. E. F. FINKIN. SPECULATIONS ON THE THEORY OF ADHESIVE WEAR. WEAR 1972. VOL. 21. PAG. 103.
9. J. F. ARCHARD. CONTAC AND RUBBING OF FLAT SURFACES. J. APPL. PHYS. 1953. VOL. 24. PAG. 981.
10. THE CONDENSED CHEMICAL DICTIONARY, GESSNER G. HAWLEY, 9TH EDITION, ED. VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, NEW YORK, USA, 1977.
11. METALS HANDBOOK, NINTH EDITION, V.1 ASM HANDBOOK COMMITE 1978.