

1  
251

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



## OBTENCION DE UN COMPOSITO DE MATRIZ DE ALUMINIO CON CARBURADO DE SILICIO POR MEDIO DE ROTACION DEL MOLDE DURANTE LA SOLIDIFICACION

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A

JULIO ALEJANDRO AGUILAR ORTIZ

MEXICO, D. F.

1990

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.

## INDICE

INTRODUCCION	7
ANTECEDENTES TEORICOS	12
DESARROLLO EXPERIMENTAL	18
RESULTADOS Y DISCUSION	28
CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFIA	55
TABLAS, GRAFICAS Y ANEXOS	58

## INTRODUCCION

El trabajo a desarrollarse tiene como objetivo la elaboración de un compuesto de matriz metálica a base de aluminio con carburo de silicio disperso en ella. Para lograr esto se utilizará un método novedoso, el cual se explicará más adelante en el desarrollo experimental del trabajo.

--Un compuesto se puede definir (1)\* como una mezcla o combinación mecánica en una escala macro de dos o más materiales que son sólidos en su estado final, son mutuamente insolubles y difieren en naturaleza química.

Los compósitos según su naturaleza pueden ser de diferentes tipos, entre los cuales los principales son:

1) Laminados de madera, papel o tela y un material adhesivo que los una como lo son resinas, hule, silicones, etc. Algunos ejemplos de este tipo de compósitos son los esqueletos de las llantas, el plywood y estructuras de aislamiento eléctrico.

2) Los CERMETS, los cuales son mezclas de polvos metálicos o cerámicos, tratados térmicamente y comprimidos (Metalurgia de Polvos).

3) Plásticos reforzados, principalmente los fabricados a partir de fibra de vidrio y una resina termógena. Otros tipos de fibras son el boro, silicato de aluminio, carburo de silicio.

-----  
\* Las referencias se encuentran al final en la bibliografía.

grafito y carbón amorfo.

4) Telas, en las cuales se utilizan combinaciones de fibras de lana o algodón y una fibra sintética.

5) Compósitos rellenos, en los cuales un material adherente tal como el aceite de linasa, asfalto o resina se mezcla con un relleno en forma de hojuelas o partículas pequeñas. Algunos ejemplos de estos compósitos son el linoleum, mezclas de vidrio y hojuelas plásticas para cajas de baterías y asfalto y grava para superficies de carreteras.

6) Compósitos en los cuales se utiliza una matriz metálica en la cual se encuentran fibras o partículas de algún otro material como lo es el grafito, carburo de silicio, alúmina, limaduras de acero, etc.

A partir de la revolución industrial, el hombre ha venido desarrollando nuevos materiales los cuales poseen mejores características que los tradicionalmente utilizados. Los nuevos materiales debían de ser de alta calidad pero de bajo costo de producción, con el objeto de que pudieran competir con los ya existentes.

Fue desde esos tiempos y hasta la actualidad en que el hombre se dió cuenta que al colocar en un mismo producto dos materiales distintos y con características mecánicas distintas, las propiedades de este nuevo material se incrementaban con respecto a los materiales utilizados originalmente y es allí donde nacieron los compósitos. Sin embargo, no fue sino hasta este siglo y sobre todo a partir de la segunda guerra mundial en que

se inició la búsqueda por materiales mas resistentes y ligeros para la construcción de motores y estructuras para automóviles, aviones, etc. Aunque ya se tenía conocimiento de ella, fué a partir de aquí en que se desarrollo la metalúrgia de polvos (CERMET) y los compósitos metálicos los cuales se hacían uniendo laminas por medio de resinas, fundiendolos con partículas en suspensión, etc.

Materiales tales como el aluminio y el magnesio (2) y sus respectivas aleaciones, los cuales se caracterizan por ser muy livianos pero que carecen de algunas propiedades físicas y mecánicas de otros metales 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, alúmina, 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 consistentes en una matriz de aluminio y carburo de silicio disperso en ella, demostraron 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, se encontró también que su fabricación era bastante complicada y resultaban de muy elevado costo, lo cual ha sido la principal

limitante en el desarrollo y aplicación de este material.

Se siguen estudiando nuevos procesos para la obtención de compósitos de matriz de aluminio con carburo de silicio y el objetivo de este trabajo de investigación es el de desarrollar un proceso, el cual permita la obtención de este compósito de manera fácil y barata y que pueda ser aplicado posteriormente a nivel industrial, como ya se dijo anteriormente.

Para que el compósito obtenido tenga éxito, se deberá lograr una adecuada dispersión y distribución homogéneas del Carburo de Silicio en la matriz de aluminio.

## ANTECEDENTES TEORICOS



## ANTECEDENTES TEORICOS

Los materiales compósitos de matriz metálica a base de aluminio - cerámica se han venido fabricando desde hace más de 20 años y se utilizan en la industria automovilística, aeroespacial y de defensa.

La razón principal por la cual estos materiales no se han extendido ampliamente en el mercado se debe al hecho de que, en su mayoría, resultan caros de fabricar, no pueden ser refundidos sin que sus propiedades se vean afectadas debido a cambios en su microestructura. Para los compósitos a base de aluminio estas propiedades incluyen una elevada resiliencia,<sup>(3,4)</sup> resistencia a la deformación, resistencia al desgaste, la cual es mucho mayor que la de materiales comunmente usados como el acero, aluminio y hierros colados, estabilidad térmica, si se comparan con una aleación de aluminio sin reforzar.

Debido a las características antes mencionadas y a otras existentes en estos materiales, estos han encontrado gran variedad de aplicaciones debido sobre todo al ahorro de peso que representan, lo cual es muy importante en la industria por el incremento de la eficiencia y a la facilidad de manejo.

Para que estos compósitos puedan ser usados a nivel industrial en un sentido tanto práctico como económico, deben de poseer las siguientes cualidades:<sup>(3)</sup>

- El material obtenido debe estar libre de defectos.

- El material cerámico debe estar distribuido y disperso adecuadamente en la matriz.

- Su fabricación debe ser relativamente fácil.

Uno de estos compósitos de matriz metálica a base de aluminio es el de Aluminio-Carburo de Silicio, el cual posee todas las características antes señaladas pero que presenta grandes dificultades para su fabricación debidas principalmente a la integración de las partículas de Carburo de Silicio al aluminio. Este problema se soluciona al haber una buena humectación de la superficie de las partículas de carburo de silicio por el aluminio cuando este último se encuentra en estado líquido.

En los procesos utilizados actualmente en la industria, se debe agitar la suspensión de carburo de silicio en el aluminio fundido para después colar el compuesto. En este trabajo se busca ahorrar un paso al lograr que esta agitación se lleve a cabo en el molde por medio de rotación del mismo.<sup>(3)</sup>

Las propiedades mecánicas del compuesto son el resultado de la combinación de la dureza (9.5 en la escala de Mohs) <sup>(5,6)</sup> y resistencia al desgaste del carburo de silicio y de la maleabilidad y resistencia del aluminio. Al mismo tiempo el material conserva la ligereza y resistencia a la corrosión del aluminio.

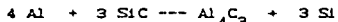
Los valores de la resistencia dependen en gran medida de la uniformidad en la distribución de las partículas de carburo de silicio dentro de la matriz de aluminio, pues esta a su vez da

uniformidad a las propiedades del material.

El carburo de silicio siendo sumamente abrasivo, aumenta considerablemente la resistencia al desgaste por fricción y abrasión del material. Esto es muy importante sobre todo en piezas móviles que están en contacto con otras estacionarias o también móviles.

Debido a que las partículas de carburo de silicio son más densas que el aluminio ( $\rho_{SiC}=3.23$  y  $\rho_{Al}=2.7$ )<sup>(5)</sup>, estas tienden a asentarse en el fondo cuando el aluminio se encuentra fundido, por lo que al estar el aluminio en estado líquido debe haber una agitación del material para evitar heterogeneidades en la distribución del carburo de silicio dentro de la matriz de aluminio.

Se ha logrado determinar que el aluminio reacciona con el carburo de silicio a una temperatura mayor a los 800°C, formándose carburo de aluminio el cual precipita en forma de cristales de color amarillo, los cuales reducen considerablemente las características del material. La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:<sup>(3)</sup>



Por lo anterior se deberá tratar de que el aluminio no sobrepase los 800°C cuando está en presencia del carburo de silicio durante el proceso de fabricación del material.

Según la experiencia acumulada en trabajos anteriores<sup>(7,8)</sup> se puede determinar que al agregar una fase ajena a un medio líquido que se encuentra contenido en un recipiente el cual rota a su

vez, esta fase baja por el vórtice provocado por la rotación y al llegar al fondo y chocar en el esta fase sale proyectada hacia las paredes del recipiente y después de ocurrir esto la fase ajena se mezcla completamente con la fase líquida quedando uniformemente dispersa en el sistema.

Basándose en esto se puede predecir teóricamente lo que sucederá al agregar una fase sólida, como lo es el carburo de silicio, a un metal fundido, en este caso el aluminio, si este se encuentra contenido en un molde rotatorio. (7,8)

El proceso desarrollado en este trabajo se basa en hacer rotar al molde durante la solidificación, con el objeto de que la fuerza centrífuga producida logre una agitación del aluminio, lo cual a su vez haga que las partículas de carburo de silicio se distribuyan homogéneamente dentro de la matriz. Para que lo anterior se realice de la mejor manera posible se deberá mantener la mezcla líquida durante la mayor cantidad de tiempo que se pueda para que la mezcla tenga más tiempo para llevarse a cabo adecuadamente.

Se deberán buscar las mejores condiciones para que el compuesto se forme de manera correcta y dentro de las cuales se encuentra la velocidad de rotación del molde, la temperatura de vaciado del aluminio, el tamaño de partícula del carburo de silicio y la forma de adicionar el carburo de silicio al aluminio. El molde tiene una altura de 2 1/4 pulg. (5.72 cm) hábiles por 1 pulg (2.54 cm) de diámetro, lo cual nos da una relación altura diámetro de 2.25.

El carburo de silicio deberá quedar perfectamente incorporado a la matriz de aluminio, además de quedar homogéneamente distribuido en ella.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 1) Descripción del Equipo <sup>(7.8)</sup>

El equipo consta de un eje vertical sujeto por una serie de chumaceras y cojinetes, los cuales lo sujetan a una estructura de madera atornillada a el suelo con el objeto de proporcionarle la mayor firmeza posible.

En la parte superior del eje se encuentra un dispositivo en el cual se atornilla un molde metálico cilíndrico el cual se describe más adelante.

La fuerza motriz del sistema la proporciona un motor eléctrico de corriente alterna el cual está dotado de un reóstato que permite variar la velocidad del mismo.

El motor está montado en un tripode separado del resto de la estructura con el objeto de que las vibraciones producidas por este no afecten al resto del sistema.

Para conectar el motor al eje, existe un juego de poleas, una de las cuales se encuentra en la parte inferior del eje y la otra se encuentra sujeta a la flecha del motor y están unidas a su vez por una banda que hace las veces de transmisión.

A continuación se presenta un esquema de la forma y funcionamiento del equipo utilizado en el trabajo: (Figura 1)

ESQUEMA UTILIZADO PARA LA FABRICACION DE COMPÓSITOS  
DE MATRIZ DE ALUMINIO CON CARBURRO DE SILICIO EN EL  
PRESENTE TRIAXIAL

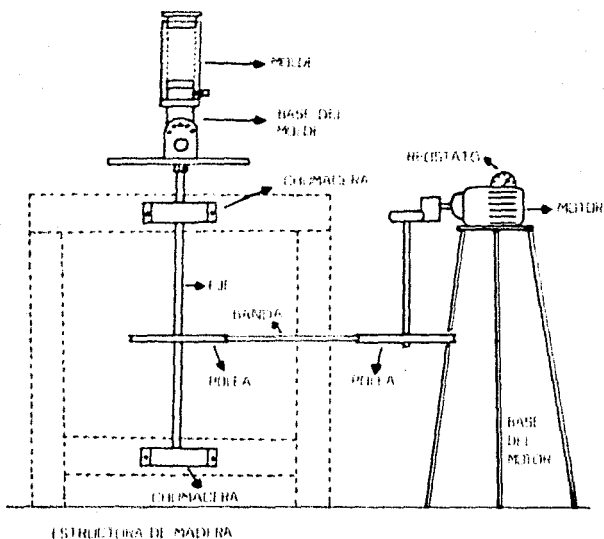


FIGURA 1



## 20 Descripción del Molde. (1.2)

El molde es un cilindro hueco de acero al carbono de 4 pulg (10.16 cm) de largo, 1 1/2 pulg (3.81 cm) de diámetro exterior y 1 pulg (2.54 cm) de diámetro interior, presentando en el interior un pequeño agujero de salida para facilitar la extracción de las probetas. La longitud hábil del molde es de 2 1/4 pulg (5.72 cm).

En la parte superior del molde se coloca un tapón, el cual se mete a presión en el mismo con el objeto de evitar que se derrame el aluminio cuando está operando el equipo.

En la parte inferior a 1 pulg (2.54 cm) del fondo el molde lleva un fondo falso, el cual se puede remover y que sirve para evitar que el metal llegue a la base del molde impidiendo después su extracción.

Por debajo de este fondo falso el molde tiene un tornillo prisionero que permite ajustar el molde a la base del mismo. Esta base es una placa con una pequeña protuberancia a la cual se ajusta el molde.

A continuación se presenta un esquema detallado del molde y la base del mismo que permitirá de manera gráfica apreciar su funcionamiento. (Figura 2)

DETALLE DEL MOLDE

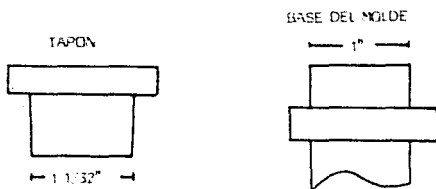
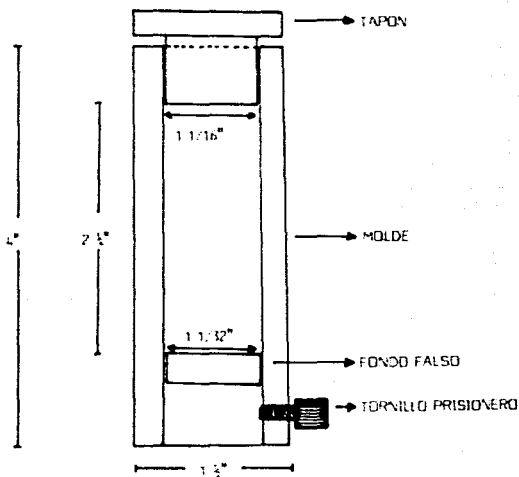


FIGURA 2

### 3) Procedimiento Experimental

El aluminio empleado para la prueba es un aluminio puro comercial cuya composición se da al final en el anexo 1.

El Carburo de Silicio empleado para este trabajo es un carburo de silicio comercial utilizado para la fabricación de abrasivos, tiene una morfología cristalina con aristas afiladas y formas geométricas irregulares.

El aluminio se funde en un crisol de sílice en una mufla, la cual se calienta hasta alcanzar una temperatura interior de entre  $800^{\circ}$  y  $850^{\circ}\text{C}$ . Dentro de la misma mufla se colocan el molde, el tapón y el carburo de silicio en un recipiente apropiado para tal efecto con el objetivo de que al vaciar el metal este no se enfríe debido al contacto con un molde frío y al colocar el carburo de silicio este, por estar frío, no sea cubierto por una capa de aluminio sólido que le impida mezclarse adecuadamente.

La base del molde también debe ser calentada para evitar que al entrar en contacto con el molde caliente lo enfríe, para esto se utiliza un soplete de gasolina.

Al alcanzar la mufla la temperatura adecuada, se extrae de esta el molde el cual se atornilla a la base del mismo previamente precalentada. Como siguiente paso se vacía en el molde el aluminio y el carburo de silicio de la forma que se explica más adelante, se coloca el tapón en el molde y se hace girar al molde durante el tiempo que sea necesario para lograr una buena dispersión del carburo de silicio.

Para evitar que el aluminio solidifique demasiado rápido dentro del molde este se trata de mantener caliente el mayor tiempo posible por medio del soplete de gasolina. La llama del soplete se deja aproximadamente cinco minutos calentando el molde y posteriormente se retira, dejando rotar el molde unos dos minutos más para poder asegurarse que todo el aluminio haya solidificado antes de detener la operación del dispositivo.

Al finalizar la operación se desmonta el molde de su base y se extrae la probeta. Al extraer la probeta del molde se puede predecir cualitativamente si la probeta salió con los resultados deseados pues de no ser así parte del carburo de silicio queda en la parte superior de esta y en las paredes del molde formando una superficie rugosa de color negro en la probeta.

Para determinar el procedimiento más adecuado para la obtención del compuesto se hicieron las siguientes variaciones en la operación del sistema:

-Velocidad del Molde: Se utilizaron velocidades de 400, 500 y 770 RPM.

-Granulometría del carburo de Silicio: Se usaron diferentes tamaños de grano, los cuales tenían las siguientes aperturas de mallas ASTM: 120, 150 y 180.

-Temperatura del Aluminio: Debido a que la cantidad de aluminio es muy pequeña, y por lo tanto se enfría rápidamente, se calculó una temperatura de vaciado de entre  $800^{\circ}$  y  $850^{\circ}\text{C}$  en todos los casos para evitar un tiempo de solidificación demasiado corto y además para evitar una reacción del aluminio con el carburo de

silicio, la cual se lleva a cabo de manera rápida a más de  $800^{\circ}\text{C}$ , sin embargo como se enfría tan rápido el aluminio esta no alcanza a llevarse a cabo. Para lograr la temperatura deseada de manera aproximada, por medio de un controlador de temperatura se dejaba que la mufla alcanzara los  $825^{\circ}\text{C}$  y se dejaba a esa temperatura durante algún tiempo para que se estabilizara térmicamente en su interior.

-Adicionamiento del Carburo de Silicio: Para lograr una distribución homogénea y una incorporación máxima de carburo de silicio a la matriz de aluminio del compuesto, el SiC se adicionó de las siguientes maneras:

1) Se colocó el carburo de silicio en el fondo del molde y posteriormente se vació el aluminio encima de él para luego rotar el molde.

2) Se vació el aluminio en el molde y encima de este se colocó el SiC.

3) Se vació el aluminio al mismo tiempo que el SiC en el molde, tratando de hacer esto de la manera más uniforme posible.

4) Se vació el aluminio junto con el carburo de silicio en el molde y antes de iniciar la rotación de este el metal junto con el carburo de silicio se agitaron manualmente.

5) Se agregó el SiC en el crisol que contenía el aluminio fundido y se agitó manualmente antes de vaciarlos en el molde.

6) Se fundió el aluminio en presencia del carburo de silicio en el mismo crisol y al estar fundido el aluminio se vació en el molde después de agitar para evitar que el carburo de silicio

quedara asentado en el fondo.

-Porcentaje de Carburo de Silicio adicionado: Se agregaron diferentes porcentajes en volumen de carburo de silicio al aluminio. Estos fueron 5, 7, 10 y 15%.

A las probetas obtenidas según los métodos antes señalados y en combinaciones de estos se les practicó una metalografía para determinar cual era el procedimiento y las condiciones más adecuadas para obtener el compuesto requerido, esto es el que presentara una mayor cantidad de SiC disperso con la mejor distribución de este a través de la matriz.

Al encontrar el mejor método para la fabricación del compuesto, se fabricaron por este mismo procedimiento varias probetas con el objetivo de poderles hacer metalografías además de algunas pruebas mecánicas de carácter puramente comparativo con las propiedades que presentan probetas iguales de aluminio puro comercial. Debe hacerse notar que las pruebas hechas no tienen ninguna representatividad de las características de este material, pues no se hicieron las pruebas suficientes para tener una base de criterio en la cual basarse para determinarlas adecuadamente. Lo anterior se debe a que el objetivo del trabajo de tesis es específicamente el de obtener el compuesto de matriz metálica a base de Aluminio con Carburo de Silicio.

Las pruebas que se le hicieron a las probetas son:

Ensayo de Tracción, ensayo de impacto, prueba de resistencia al desgaste por fricción. Estas pruebas también se le hicieron a

probetas de aluminio puro comercial.

Además de las pruebas ya mencionadas, se le hicieron pruebas de resistencia a la corrosión como lo son la determinación del potencial de corrosión y velocidad de corrosión (Curvas de Tafel).

Para evitar confusiones de cualquier tipo, todas las probetas fueron debidamente marcadas y numeradas y según el número clasificadas conforme fueron siendo elaboradas.

La determinación de las propiedades mecánicas de el compuesto elaborado pueden ser el objetivo de trabajos posteriores.

## RESULTADOS Y DISCUSION



## RESULTADOS Y DISCUSION

Al terminar de hacer las diferentes pruebas se determinó que el mejor método para elaborar el compuesto era el siguiente:

-La temperatura de vaciado del aluminio debía de ser de entre 800 y 850°C para que el tiempo de solidificación fuera lo suficientemente grande para permitir la formación del compuesto.

-El tamaño de grano más adecuado de el carburo de silicio fué de 150 mallas, pues a 180 o más mallas el SiC se compactaba impidiendo esto que pudiera ser dispersado en el aluminio líquido. Con tamaños de partícula del orden de las 120 mallas, el carburo de silicio no era mezclado por el aluminio y quedaba agrupado fuera de la probeta pegado a las paredes del molde.

-La velocidad de rotación del molde más adecuada fué de entre 480 y 500 RPM, pues a menos revoluciones el carburo de silicio no alcanzaba a entrar en suspensión en el aluminio fundido quedando pegado en el exterior de la probeta, sobre todo en la parte superior e inferior del molde. A una velocidad superior a la antes mencionada, la fuerza centrífuga generada era tan elevada que provocaba un vórtice en el aluminio por el cual a su vez se facilitaba la formación de un rechupe central durante la solidificación.

-El SiC se debe agregar en el molde de la manera más pareja posible al aluminio, es decir, se deben agregar al mismo tiempo

para lograr una buena distribución de este en la probeta y al terminar de vaciar el aluminio se cubre este con una pequeña capa de SiC para que al estar rotando el molde este último baje por el vórtice generado y de esa forma se logre una mejor distribución.

Por el método desarrollado lo máximo que se logró fue una dispersión de 5% en volumen de carburo de silicio dentro de la matriz, lo cual se puede deber a que el molde es demasiado estrecho lo que no permite un flujo adecuado del aluminio fundido y del carburo de silicio dentro del mismo. Una relación más adecuada de altura y diámetro del molde puede ser también el objetivo de trabajos posteriores sobre este tema.

El proceso desarrollado presenta problemas para su utilización, debido principalmente a la necesidad de agregar el carburo de silicio al mismo tiempo que el aluminio, lo cual además se ve agravado por el tamaño del molde, el cual dificulta las maniobras.

#### Metalografía:

La metalografía mostró que un compuesto de matriz de aluminio con 5% de carburo de silicio fabricado por este proceso, presenta en la parte inferior de la probeta aglomerados de SiC en forma de racimos estando estos uniformemente distribuidos dentro de la matriz. Este fenómeno se presenta únicamente en los primeros 5 mm de la parte inferior de la probeta.

En la parte media y superior de la probeta el carburo de silicio se encuentra totalmente disperso de manera homogénea dentro de la matriz. Una característica es que en la superficie

de las probetas no se presenta carburo de silicio y es hasta aproximadamente a 1 mm de profundidad en que el carburo de silicio se encuentra presente a partir del cual su distribución es homogénea. Como superficie se entiende la capa exterior del cilindro que conforma la probeta.

El agrupamiento de las partículas de SiC, puede tener su origen en un incorrecto adiciónamiento de estas al vaciar el aluminio y el carburo de silicio en el molde.

Al hacer la metalografía y observar al microscopio, se observan partículas de carburo de silicio muy pequeñas, menores de lo que son realmente y esto se debe a que los cristales de carburo de silicio presentan formas irregulares con puntas afiladas, por lo que al pulir la muestra el carburo de silicio solo presenta las puntas o partes afiladas de los cristales que sobresalen en la matriz de aluminio y es en casos relativamente escasos en que se logra observar que una faceta del cristal sobresalga en la matriz permitiendo ver el tamaño real de los cristales de carburo de silicio.

Al atacar las probetas con reactivo de Keller para microataques <sup>(9)</sup> (25 ml de H<sub>2</sub>O, 20 ml de HCl, 20 ml de HNO<sub>3</sub> y 5 ml de HF (40%)), se observa un ataque preferencial alrededor de los cristales de carburo de silicio y al ser atacada la probeta quedan al descubierto los cristales de carburo de silicio con lo que se puede observar su tamaño y orientación dentro de la probeta.

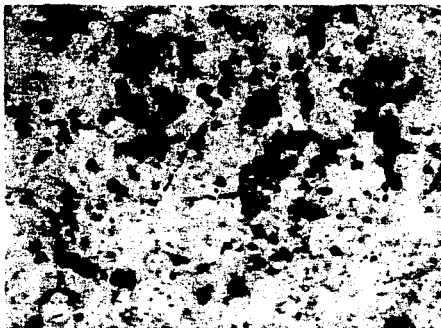
En las probetas unicamente pulidas se puede observar además del carburo de silicio las dendritas formadas durante la solidificación y en el espacio interdendritico se logra distinguir otra fase, la cual puede ser causada por impurezas de hierro y manganeso que contiene el aluminio y con los cuales al combinarse sufren una segregación durante la solidificación. La zona interdendritica tambien contiene la estructura típica de las aleaciones aluminio-silicio y que se puede deber a la reacción entre el carburo de silicio y el aluminio, la cual además de formar carburo de aluminio nos da silicio libre el cual se puede localizar en la zona interdendritica dandonos el microconstituyente típico de este tipo de aleaciones.

Al efectuar un macroataque a las probetas elaboradas por este método se puede observar que la macroestructura está integrada en su totalidad por granos equiaxiales de tamaño pequeño (0.5 a 1 mm de diámetro) lo que tambien es una ventaja para materiales de este tipo pues los hace ser más homogéneos en sus propiedades, esto se esperaba según la experiencia de trabajos anteriores<sup>(7,8)</sup> El reactivo utilizado para este análisis fué el de Tucker<sup>(9)</sup> (45 ml de HCl conc., 15 ml de HNO<sub>3</sub> conc., 15 ml de HF al 48%, 25 ml de H<sub>2</sub>O).

Otra característica muy importante que se puede observar en este material es que este no presenta porosidades y/o microrrechupes en la mayor parte de la probeta y en la única parte en donde se encuentran estos últimos es en la parte superior de la probeta.

la cual es la última parte en solidificar. Esto sucede a diferencia de lo determinado en trabajos anteriores en los cuales se había encontrado que a revoluciones como las utilizadas en este trabajo el aluminio presentaba porosidades y microrrechupes (7.8).

A continuación se presentan una serie de fotomicrografías a manera de ilustrar gráficamente lo obtenido: (Fotomicrografías 1 a la 8)



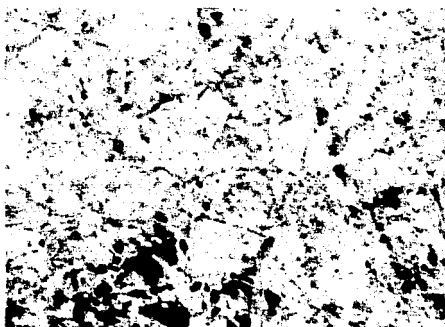
- 1) Parte superior de la probeta, Sin Ataque. El SiC se observa como puntos oscuros dentro de la matriz más clara de Aluminio. 100X



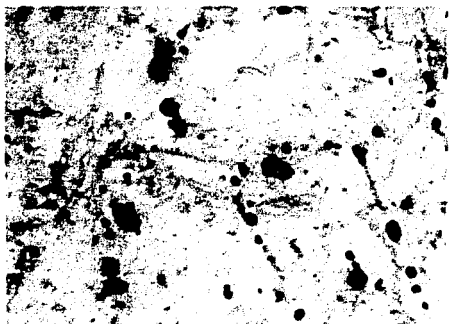
- 2) Parte superior de la probeta, Sin Ataque. El SiC se observa igual que en la fotomicrografía 1. 200X



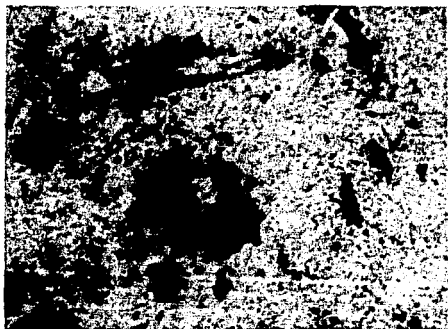
- 3) Parte superior de la probeta, Sin Ataque. El SiC se observa de la misma forma que en la fotomicrografía 1. 800x



- 4) Parte media de la probeta, Sin Ataque. El SiC se observa de la misma forma que en la fotomicrografía 1 y además se ve una fase interdendrítica. 100x

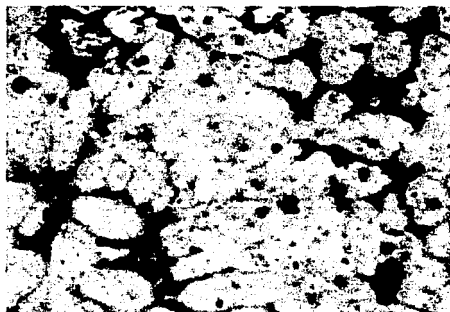


- 5) Parte media de la probeta, Sin Ataque. El SIC se observa de la misma forma que en las anteriores y se puede ver la fase interdendrítica mas claramente. 200X.



- 6) Parte media de la probeta, Sin Ataque. El SIC se puede ver junto a la fase interdendrítica. 800X





7) Parte inferior de la probeta, Sin Ataque. El SIC se observa de la misma manera que en las anteriores y se pueden ver claramente las dendritas, siendo la fase interdendrítica la típica de las aleaciones Al-Si. 100X



8) Parte inferior de la probeta. Sin Ataque. El SIC se observa de la misma forma que en las anteriores y la fase interdendrítica se asemeja a la de una aleación Al-5% Si modificada. 200X



9) Parte inferior de la probeta, Sin Ataque. El SiC se observa junto a la fase interdendrítica de las fotomicrografías 7 y 8. 800X

Pruebas Mecánicas:

1) Prueba de Impacto: (10) Para comparar la resistencia al impacto del compuesto de matriz de aluminio con 5% de carburo de silicio con la del aluminio se hicieron probetas con las siguientes dimensiones: (Figura 3)

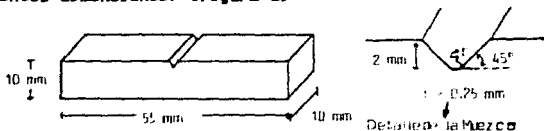


FIGURA 3

La muesca es de 2mm de profundidad, con un ángulo de  $45^\circ$  y un radio en la curvatura del fondo de 0.25mm. La prueba se hizo en una máquina para ensayos Charpy, sin embargo solo se rompieron probetas a temperatura ambiente en igualdad de condiciones, para lograr la comparación deseada. Los resultados de la prueba fueron los mismos para las dos probetas, lo que demuestra que un 5% de SiC disperso en una matriz de aluminio no mejora su resistencia al impacto. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Aluminio: —————  $Cv = 24.5 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^2$

Compósito de Aluminio-5% SiC: —  $Cv = 24.5 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^2$

Cv es la energía absorbida por el material durante el impacto (Joules) por unidad de área ( $\text{mm}^2$ ) de la probeta en la sección de la muesca.

2) Prueba de Tracción: <sup>(11)</sup> Para esta prueba se utilizaron probetas con normas ASTM con una relación de longitud diámetro de 4:1 con las siguientes dimensiones: (Figura 4)

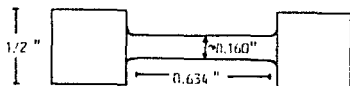


FIGURA 4

Las probetas utilizadas fueron una de compuesto de matriz de aluminio con 5% de carburo de silicio y otra de aluminio puro comercial.

Debido al pequeño tamaño de las probetas, fue imposible el uso de un extensómetro para la obtención directa de la curva de tensión-deformación durante la prueba. Fue necesaria la lectura de datos de carga y elongación directamente del aparato conforme se iba desarrollando la prueba para luego hacer la gráfica con los datos obtenidos.

La velocidad de desplazamiento de cabezal durante la prueba fue de 0.2 mm/min.

Los resultados obtenidos se pueden apreciar en las tablas 1 y 2 y en la gráfica # 1, la cual es de forma ingenieril y en ella la tensión  $s$  y la deformación  $e$  se calculan según las siguientes fórmulas:

$$s = \frac{P}{A_0}$$

$$e = \frac{L_x - L_0}{L_0}$$

En donde P es la carga aplicada en Kg,  $A_0$  es el area transversal inicial de la probeta en  $\text{cm}^2$ ,  $L_x$  es la longitud de la probeta en el momento de hacer la medición y  $L_0$  es la longitud inicial de la probeta siendo ambas en mm.

Se puede observar en las tablas 1 y 2 que en la zona elástica el módulo de Young es mayor para el compuesto que para el aluminio, es decir, la pendiente de la recta en esta zona es mayor para el compuesto, lo que lo hace ser más rígido que el aluminio que es mas flexible hasta en un 33%. El punto de fluencia para ambas probetas según los datos disponibles es practicamente el mismo para los dos materiales. Para obtener un punto de fluencia más exacto sería necesario el uso de un extensómetro durante la prueba y la utilización de un mayor número de probetas.

El módulo de Young fué para el compuesto de matriz de aluminio con 5% de carburo de silicio de  $13.050 \times 10^3$  MPa y para el aluminio fué de  $9.808 \times 10^3$  MPa. El punto de fluencia para el compuesto fué de 12.162 MPa y para el aluminio de 12.162 MPa.

La gran diferencia entre el compuesto de matriz de aluminio con 5% de carburo de silicio y el aluminio se dió en la zona

plástica, pues el compuesto presenta en esta zona una fuerte pendiente, obteniéndose una tensión máxima de 55.024 MPa y siendo la fractura de este totalmente frágil mientras que para el aluminio la pendiente en la zona plástica es mucho menor formándose una curva mucho más amplia y llegándose a una tensión máxima de 82.933 MPa, siendo su fractura dúctil. El coeficiente de endurecimiento por deformación plástica para el aluminio fué de 0.2355 y para el compuesto de 0.4022.

El comportamiento en la zona plástica se debe a que en el compuesto el SIC por tener una geometría irregular y además ser una fase extraña dentro de la matriz de aluminio promueve la concentración de tensiones, además sirve de anclaje para las dislocaciones e impide el libre deslizamiento de los planos cristalinos, lo cual dá como resultado que el material no se pueda deformar plásticamente con facilidad dándole una alta fragilidad al mismo, muy superior a la del aluminio. Lo anterior se puede comprobar por medio de los porcentajes de elongación en la zona plástica que sufrieron ambos materiales y que se calcula según la siguiente fórmula:

$$\%e_p = \frac{L_f - L_{yp}}{L_{yp}} \cdot 100$$

en donde  $L_f$  es la longitud de la probeta en el momento de la ruptura en mm y  $L_{yp}$  es la longitud de la probeta en el punto de fluencia. Los valores de  $\%e_p$  son para el compuesto de 2.90% y para el aluminio de 23.13%, lo cual nos indica la gran diferencia en cuanto a tenacidad se refiere entre los dos materiales.

El porcentaje de deformación en la zona elástica es muy parecido para ambos materiales y se calcula según la siguiente fórmula:

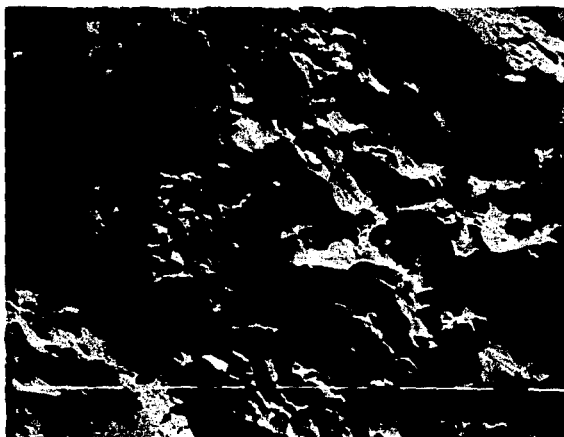
$$\% \epsilon = \frac{L_{YP} - L_0}{L_0}$$

Los valores obtenidos de  $\% \epsilon$  son para el compuesto de 0.083% y para el aluminio de 0.124%.

Aunque los valores como ya se ha dicho no son representativos, sí nos dan una comparación entre ambos materiales que nos muestra las diferentes propiedades que existen entre el compuesto desarrollado y el aluminio puro comercial.

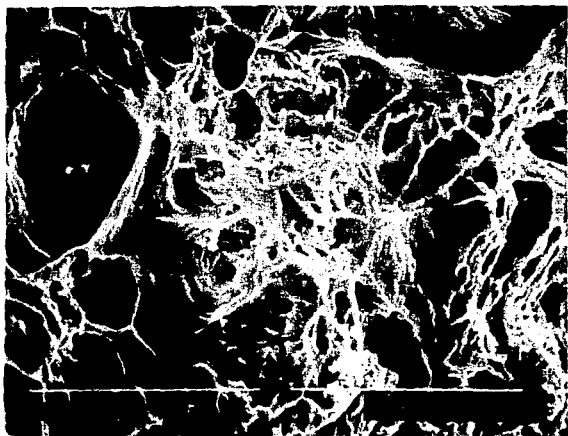
Después de ser fracturadas ambas probetas, se analizaron las fracturas por medio de un microscopio electrónico de barrido y se pudieron observar en el caso de la probeta de aluminio los planos de deslizamiento en los brazos primarios de las dendritas y en el caso del compuesto de Al-5% SiC no se veían planos de deslizamiento. A simple vista la superficie de la probeta de compuesto deformada es lisa y no presenta formación de cuello, por el contrario la probeta de aluminio presenta una superficie rugosa debida a la fuerte deformación plástica sufrida y también se puede observar la formación del cuello.

En las fotomicrografías 10 y 11 se puede observar la fractura frágil del compuesto de matriz de aluminio con 5% SiC y la fractura dúctil del aluminio.



- 10) Fractura de la probeta de compuesto de matriz metálica Al-5% SiC. Se puede observar que la fractura de esta probeta es completamente frágil. En ella se pueden observar partículas de SiC que se presentan como formas geométricas irregulares con puntas afiladas. 500x





- 11) Fractura de la probeta de Aluminio. Se puede observar que esta fractura es dúctil por la deformación sufrida por el material. 500X

3) Prueba de Desgaste por Fricción: <sup>(10)</sup> Para el desarrollo de esta prueba se utilizaron las siguientes condiciones:

Las probetas de desgaste fueron cilindros de 5 mm de diámetro, uno de aluminio puro comercial y el otro de compuesto de matriz de aluminio con 5% de SiC. El aparato constaba de un motor eléctrico de 1/4 Hp conectado a un sistema de engranes de transmisión que hacían girar un disco de acero de norma SAE 4140 (9) templado y revenido cuya superficie está pulida. La velocidad del motor se puede regular por medio de un reóstato y se estabilizó para esta prueba en 180 RPM. Las probetas están sujetas por medio de un dispositivo cuyo brazo sostenía una carga de 4 Kg. Para la prueba no se utilizó ningún lubricante. La temperatura fue la ambiente. Se hicieron dos pruebas, en la primera se dejó que la probeta fuera desgastada por el disco sin ninguna interferencia exterior y en la segunda el disco se limpiaba después de estar en contacto con la probeta por medio de un pedazo de tela con el objeto de eliminar todas las partículas producto del desgaste y que estas no intervinieran. El desgaste se midió por pérdida de peso de la probeta y esta medición se realizó a intervalos regulares de 15 min. Después de cada medición del peso se limpiaba perfectamente el disco.

El dispositivo se presenta gráficamente en la figura 5.

La probeta se encontraba a una distancia de 4.28 cm del centro del disco, lo cual a la velocidad antes mencionada nos daba una distancia recorrida de 84540.9 cm cada 15 minutos.

Con los resultados obtenidos se obtuvo la gráfica # 2, la

DISPOSITIVO UTILIZADO PARA LA PRUEBA DE DESGASTE

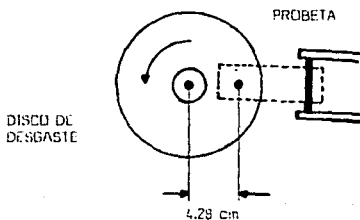
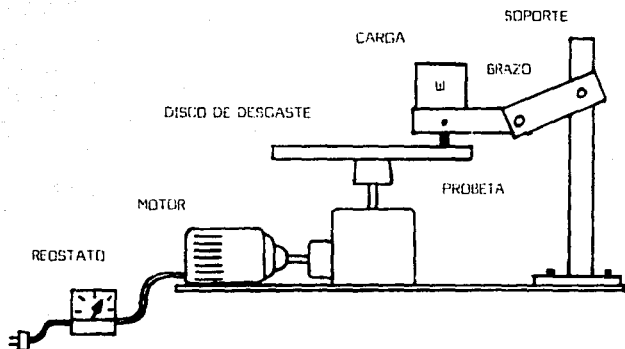


FIGURA 5

cual nos dá curvas de pérdida de peso contra tiempo.

Al terminar la prueba se encontró que el desgaste era mayor al limpiar el disco con el pedazo de tela, debido a que con este procedimiento se limpiaban las partículas desprendidas por el desgaste las cuales formaban una especie de colchón entre la probeta y el disco que retrasaba el desgaste.

Al terminar la prueba en su totalidad para cada probeta, la cual duró un total de 3:30 hrs, lo cual representa una distancia recorrida de 451786.3 cm, la diferencia de longitud en la probeta del compuesto fué de 2.4 mm y en la probeta de aluminio de 3.2 mm. Debe hacerse notar que el compuesto desgastó el disco de acero utilizado para la prueba, lo cual nos indica que el compuesto es un material sumamente abrasivo.

A partir de los resultados obtenidos, se puede decir que el compuesto desarrollado tiene una mayor resistencia que el aluminio puro comercial al desgaste por fricción en las condiciones dadas para la prueba.

Con los datos obtenidos en la prueba y con la dureza de los dos materiales que fué en dureza Brinell <sup>(11)</sup> para los dos de 36 Kg/mm<sup>2</sup> y que equivale en dureza Knoop <sup>(12)</sup> a 51 Kg/mm<sup>2</sup>, se puede obtener el coeficiente de desgaste para los materiales, el cual se obtiene según la siguiente fórmula: <sup>(10)</sup>

$$K = \frac{(V \cdot H_m)}{(P \cdot S)}$$

en donde K es el coeficiente de desgaste, Hm es la dureza Knoop del material, S es la distancia recorrida en mm, P es la carga aplicada en Kg y V es el volumen desgastado en mm<sup>3</sup> y que se

obtiene por medio de la densidad del compuesto que es de 2.728 g/cm<sup>2</sup> y 2.7 g/cm<sup>3</sup> para el aluminio y el peso desgastado por etapa. (Todos los cálculos se hicieron con tiempos de desgaste de 15 min). Las densidades se obtuvieron para fines de cálculo haciendo la suposición de que el carburo de silicio no reacciona con el aluminio y en el caso del aluminio suponiendo que al ser el aluminio el metal predominante en más de 99% es el que determina principalmente la densidad.

Los resultados obtenidos para el coeficiente de desgaste son para el compuesto de matriz de aluminio con 5% de carburo de silicio de  $3.6744 \times 10^{-5}$  sin limpiar el disco y de  $8.6329 \times 10^{-5}$  limpiando el disco. Para el aluminio el coeficiente de desgaste fue de  $4.2671 \times 10^{-5}$  sin limpiar el disco y de  $10.312 \times 10^{-5}$  limpiando el disco. Según los coeficientes de desgaste obtenidos se puede apreciar que el compuesto resiste en mayor grado el desgaste que el aluminio hasta en un 20%.

#### Pruebas Electroquímicas:

1) Determinación del potencial de corrosión: (13) Para determinar el potencial de corrosión de probetas de aluminio y de compuesto de matriz de aluminio con 5% de carburo de silicio se utilizó un medio salino al 3% (NaCl). Como ánodo se utilizaron las probetas obtenidas y como cátodo se utilizó un electrodo de grafito. Como electrodo de referencia se utilizó el electrodo estándar de Calomel. Se hicieron medidas de potencial (E) cada

10 segundos durante un tiempo suficiente para que se estabilizara el sistema. Para lograr esto se utilizó un potencióstato y para controlar el proceso y recolectar los datos obtenidos se utilizó una computadora APPLE II Plus con un programa especial de corrosión que permitió además la obtención de gráficas. El medio salino se eligió debido principalmente a que los cloruros atacan al hidróxido de aluminio haciéndolos muy reactivos para el caso del aluminio.

Para el aluminio el potencial de corrosión fué de  $-1040$  mV y para el compósito de matriz de aluminio con 5% de carburo de silicio fué de  $-780$  mV, lo cual indica que el aluminio puro comercial usado es mas activo que el compósito obtenido (Según el ensayo realizado en 2 probetas).

Los resultados obtenidos se pueden observar en las gráficas # 3 y 4.

2) Velocidad de Corrosión (Curvas de Tafel): (13) Para la obtención de la gráfica de velocidad de corrosión se utilizaron las mismas condiciones que para la determinación del potencial de corrosión y para los dos materiales se obtuvieron curvas similares, lo cual indica que sus propiedades son muy parecidas en cuanto a corrosión se refiere y esto se debe principalmente al fenómeno de pasivación del aluminio, el cual forma una capa de hidróxido de aluminio hidratado en su superficie la cual impide la corrosión al aislar al material del medio que lo rodea. Esto es una ventaja importante para este tipo de compósito pues le da un mayor campo de aplicaciones.

Los resultados obtenidos en esta prueba se pueden observar en las gráficas # 5 y 6.

## CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

- 1) Por el proceso desarrollado en este trabajo se logra la elaboración del compuesto de matriz metálica en base aluminio con carburo de silicio disperso en ella hasta en un 5% en volumen.
- 2) El proceso logra una distribución homogénea del SiC dentro de la matriz de aluminio, lo cual representa un logro importante.
- 3) El compuesto de matriz de aluminio con 5% de SiC presenta la misma dureza y resistencia al impacto que el aluminio, lo cual indica que el carburo de silicio en este porcentaje no tiene influencia sobre estas propiedades.
- 4) El compuesto de matriz de aluminio con 5% de carburo de silicio presenta una resistencia al desgaste por fricción superior hasta en un 20% a la del aluminio puro comercial.
- 5) El compuesto de matriz de aluminio con carburo de silicio presenta una fragilidad (Dificultad para deformarse plásticamente) mucho mayor que la del aluminio puro comercial y es además superior al aluminio en cuanto a rigidez se refiere (Resistencia a la deformación elástica).
- 6) El material compuesto de matriz de aluminio con 5% de carburo de silicio no presenta porosidades y la matriz de aluminio es continua a través de toda la probeta, lo cual es un logro importante para este material.
- 7) El compuesto presenta la misma resistencia a la corrosión que

el aluminio lo cual le da la misma versatilidad de este último para trabajar en presencia de medios agresivos.

## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

- 1) "The Condensed Chemical Dictionary", Gessner G. Hawley, 9th edition, ed. Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA 1977.
- 2) "Handbook of Materials Science", Vol II, Charles T. Lynch, ed. CRC Press, USA 1980.
- 3) "Foundry Practice for the First Castable Aluminum/Ceramic Composite Material", D. E. Hammond, Modern Casting, August 1989, Vol. 79, No. 8, pag. 29.
- 4) "Casting Aluminum/Ceramic Composites at Progress", P. M. Bralower, Modern Casting, August 1989, Vol. 79, No. 8, pag. 32.
- 5) "The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biologicals", Martha Windholz, 10th. edition, ed. Rahway, Merck and Co. 1983.
- 6) "A Textbook of Mineralogy", E. S. Dana y W. E. Ford, 4th edition, ed. John Wiley and Sons Inc., USA 1958.
- 7) "Modificación de la estructura de un lingote de latón comercial por el método de rotación", Tesis, J. E. Varela Palacios y M.J. Jiménez Santos, IQM, Fac. de Química, UNAM 1988.
- 8) "Variación de la estructura de colada de una aleación de Al-5% Si por movimiento de rotación", Tesis, A. Barrera Arenas, IQM, Fac. de Química, UNAM 1982.
- 9) "Metals Handbook", American Society for Metals, Vol. 7, Atlas

of Microstructures, 9th edition, USA 1985.

10) "Metals Handbook", American Society for Metals, Vol. 8, Mechanical Testing, 9th edition, USA 1985.

11) "Mechanical Metallurgy", George E. Dieter, 3rd edition, ed. McGraw-Hill Book Company, USA 1986.

12) "Aluminum Alloys: Structure and Properties", L. F. Mondolfo, 1st. edition, ed. The Butter Worth Group, England 1976.

13) "Corrosion Engineering", M. G. Fontana, 1st. edition, ed McGraw-Hill, New York 1978.

TABLAS, GRAFICAS Y ANEXOS

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TABLA 1

RESULTADOS DEL ENSAYO TENSION DEFORMACION PARA EL COMPÓSITO Al-5% SiC

P (Carga en Kg)	Elongación (mm)	s (P/A <sub>o</sub> , Kg/cm <sup>2</sup> )	e [(Lx-Lo)/Lo]
0	0	0	0
16	0.015	124.03	$0.932 \times 10^{-3}$
18	0.03	139.53	1.06 "
22	0.05	170.54	1.11 "
28	0.066	217.85	1.10 "
35	0.10	271.32	1.21 "
45	0.16	368.64	1.54 "
52	0.21	403.13	15.04 "
58	0.26	469.61	16.15 "
61	0.296	472.87	18.38 "
61	0.314	472.87	19.44 "
65	0.364	503.88	22.61 "
69	0.415	534.88	25.78 "
73	0.449	565.89	27.89 "
73.7	0.466	577.32	28.94 "
72	0.483	565.89	30.00 "

$$l_o = 16.104 \text{ mm}$$

$$d_o = 4.06 \text{ mm}$$

$$A_o = 12.95 \text{ mm}^2$$

TABLA 2

RESULTADOS DEL ENSAYO TENSION DEFORMACION PARA EL ALUMINIO

P (Kg)	Elongación (mm)	$\sigma$ (P/A <sub>o</sub> , Kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ [(Lx-L <sub>o</sub> )/L <sub>o</sub> ]
0	0	0	0
16	0.02	124.02	1.24 x 10 <sup>-3</sup>
20	0.03	155.04	1.55 "
30	0.04	232.56	2.32 "
40	0.08	310.08	3.10 "
47	0.14	364.34	3.64 "
55	0.21	426.35	4.26 "
60	0.28	465.12	4.65 "
63	0.33	488.57	4.88 "
65	0.37	503.88	5.03 "
67	0.39	519.38	5.19 "
67	0.42	519.38	5.19 "
72	0.52	558.14	5.58 "
78	0.65	604.65	6.04 "
84	0.94	651.16	6.51 "
90	1.12	697.67	6.97 "
96	1.42	744.19	7.44 "
102	1.93	790.70	7.90 "
106	2.50	821.71	8.21 "
109	3.21	844.96	8.44 "
109.1	3.48	865.74	8.65 "
109	3.55	864.96	8.64 "
107	3.64	859.45	8.59 "
104	3.75	836.20	8.36 "

$l_0 = 16.104 \text{ mm}$

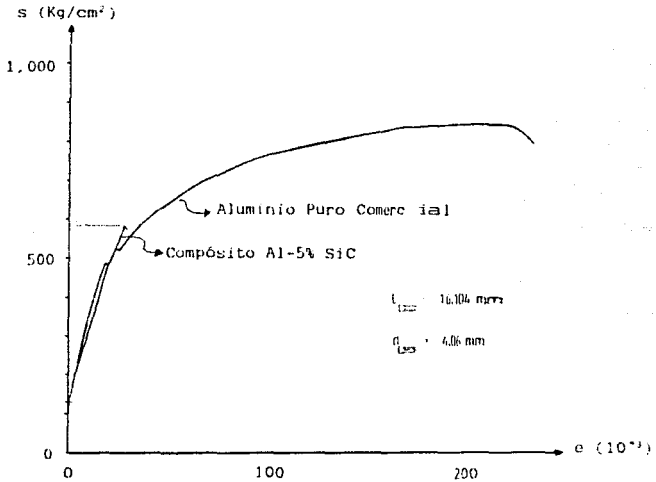
$d_0 = 4.06 \text{ mm}$

$A_0 = 12.95 \text{ mm}^2$



GRAFICA # 1

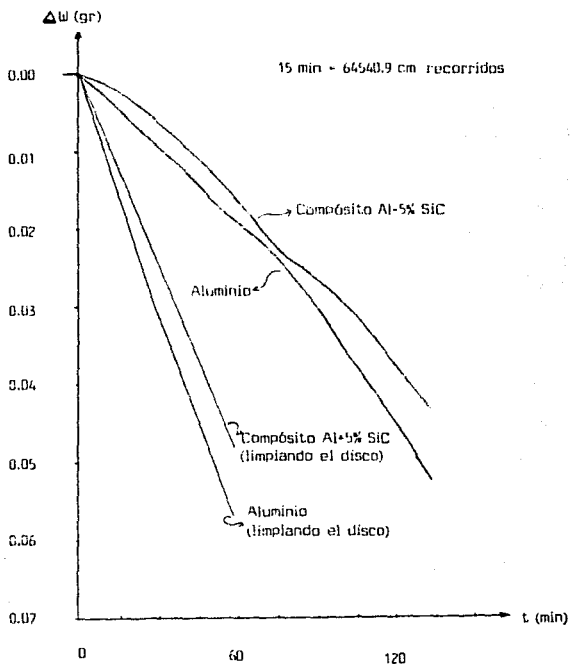
CURVA DE TENSION DEFORMACION PARA EL COMPÓSITO Al-5% SiC  
Y ALUMINIO PURO COMERCIAL



	<u>Compósito Al-5% SiC</u>	<u>Aluminio</u>
Tensión Máxima	56.024 MPa	32.933 MPa
Módulo de Young	13.050 X 10 <sup>3</sup> MPa	8.809 X 10 <sup>3</sup> MPa
Punto de Fluencia	12.162 MPa	7.162 MPa
Coef. de Endure- cimiento por Deformación	0.4922	0.2355

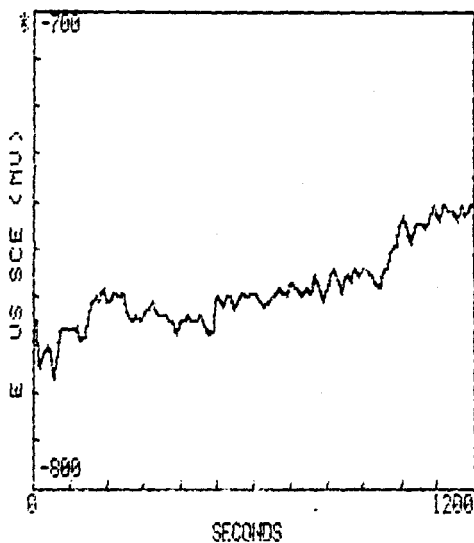
GRAFICA # 2

CURVAS DE DESGASTE PARA EL COMPÓSITO Al-5% SiC Y ALUMINIO PURO COMERCIAL CON Y SIN LIMPIEZA DEL DISCO



GRAFICA # 3

CURVAS DE POTENCIAL DE CORROSION

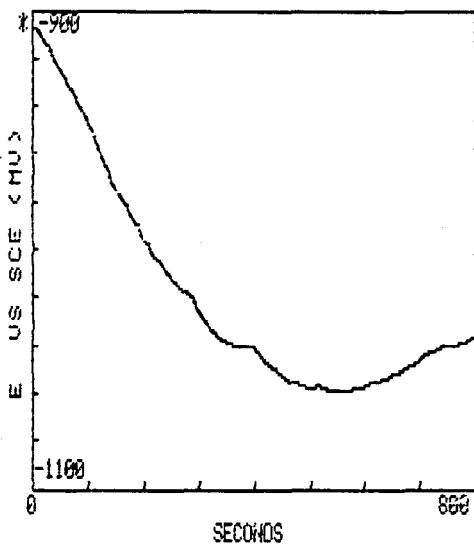


EXPERIMENT TYPE: ECPOR VS TIME  
SECONDS/POINT: 10  
TOTAL TIME (SECS): 1200

COMPOSITO EN MEDIO SALINO (7% NaCl)

GRAFICA # 4

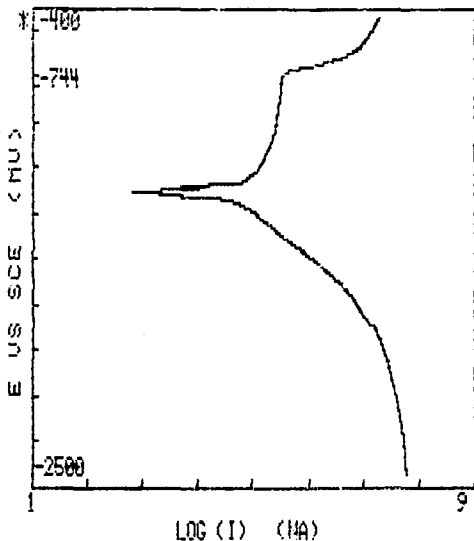
CURVAS DE POTENCIAL DE CORROSION



EXPERIMENT TYPE: ECDRR VS TIME  
 SECONDS/POINT 10  
 TOTAL TIME (SEC) 600

ALUMINIO DE LLEGADA EN MEDIO SALINO  
 (3% NaCl)

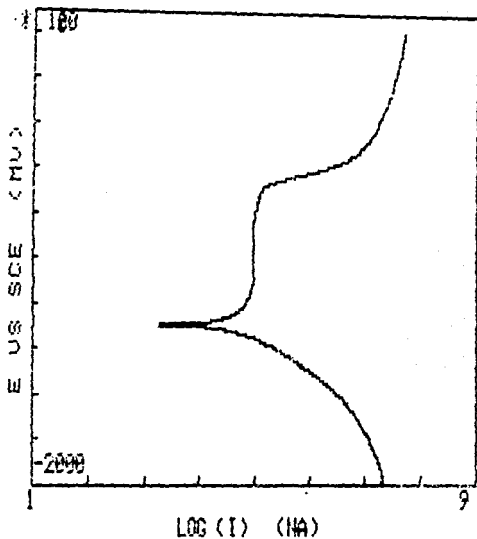
GRAFICA # 5



EXPERIMENT TYPE:	TAFEL PLOT
INITIAL E (MV)	-2944
FINAL E (MV)	-444
SCAN RATE (MV/S)	10
ECDPR (MV)	-744
AREA (CM <sup>2</sup> )	1
EQUIV WEIGHT (G)	0
DENSITY (G/CM <sup>3</sup> )	2.726
CTC (V/DECADE)	0
ATC (V/DECADE)	0

CURVAS DE TAFEL PARA UN COMPOSITO  
AL-5% SIC EN MEDIO SALINO (3% NaCl.)

GRAFICA # 6



EXPERIMENT TYPE:	TAFEL PLDT
INITIAL E (MV)	-1997
FINAL E (MV)	3
SCAN RATE (MV/S)	10
ECORR (MV)	-1.050
AREA (CM <sup>2</sup> )	1
EDIV WEIGHT (G)	0
DENSITY (G/CM <sup>3</sup> )	2.7
CTC (V/DECADE)	0
ATC (V/DECADE)	0

CURVAS DE TAFEL PARA ALUMINIO DC  
LLEGADA EN ENDO SALINO (3% NaCl)

ANEXO 1  
ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCION ATOMICA  
SOLICITUD DE SERVICIO  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA

SOLICITUD No.

90/05/1340

INTERNO



SOLICITANTE

Guillermo Salas

EXTERNO



SOLICITANTE

DEPENDENCIA O CIA.

DEPARTAMENTO

NOMBRE DEL PROYECTO

Tesis

DESCRIPCION Y PRESENTACION DE  
LA MUESTRA

ANALISIS DE MUESTRA



NUMERO DE ELEMENTOS



OTROS

Cu, Fe, Hg, Mn, Si

LECTURAS DE MUESTRAS  
YA PREPARADAS



NUMERO DE MUESTRAS

1

INFORMACION ADICIONAL

Cu 0.0644% Mn 0.3214%

Fe 0.5952%

Hg 0.0016%

FECHA

17 - 05 - 90

25 - 05 - 90

ANTIGUA

DIA

MES

AÑO

TIEMPO PROGRAMADO PARA EL SERVICIO

Guadalupe Contreras O.

EFFECTUO

AUTORIZO  
NOMBRE Y FIRMA