

3/  
2ej<sup>o</sup>



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**FABRICACION DE COMPOSITO Al - Sic  
( 5, 10, 15 y 20 % DE Sic )  
POR AGITACION MECANICA**

**TESIS MANCOMUNADA**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO  
P R E S E N T A N :  
MAYRA CORTES CRUZ  
ANDREA CRUZ LOPEZ  
SANTA MELO MONTES DE OCA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1993



## **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	Pag
INTRODUCCION.	1
CAPITULO I:	3
I.1.	3
I.1.1.	3
I.1.2.	4
I.1.3.	6
I.2.	10
I.2.1.	11
I.2.2.	11
I.2.3.	12
I.2.4.	12
I.3.	13
CAPITULO II:	28
II.1.	28
II.2.	31
II.3.	32
II.4.	33
II.5.	34
CAPITULO III:	36
RESULTADOS Y DISCUSION	36
CONCLUSIONES	40
BIBLIOGRAFIA	41
APENDICE. 1	
APENDICE. 2	

## INTRODUCCION:

En la actualidad la carencia de materiales utiles y de bajo costo que puedan tener como característica el sustituir a los convencionales, ha sido motivo para que se realicen nuevas investigaciones en el área de éstos. Producto de estas investigaciones son los llamados compósitos, los cuales son el resultado de la combinación de dos o más componentes. Los compósitos son materiales con propiedades iguales o superiores a las de los convencionales.

De acuerdo al tipo de matriz éstos se clasifican en compósitos de matriz cerámica, orgánica y metálica. Siendo las propiedades de éstos, la combinación de las características de cada uno de los constituyentes, con los cuales se han fabricado, así como también estas propiedades son función del tipo, forma y cantidad del material reforzante utilizado.

Los compósitos de matriz metálica presentan un cambio en las siguientes propiedades: la resistencia al desgaste, módulo específico y coeficiente de expansión térmica, conservando dichas propiedades a alta temperatura. Esto permite su uso en la industria automotriz, aeronáutica y militar entre otras.

La obtención de estos materiales ha sido realizada durante años mediante la técnica de metalurgia de polvos, siendo el inconveniente de ésta el alto costo de producción, por ello es que se han tratado de desarrollar otros métodos de obtención entre los

cuales se encuentra el método de metalurgia líquida

El objetivo de este trabajo es determinar las condiciones adecuadas para lograr la incorporación y distribución homogénea de partículas cerámicas de SiC en una matriz de aluminio mediante la técnica del vortex.

## CAPITULO I. ANTECEDENTES

### I.1 -COMPOSITOS DE MATRIZ METALICA.

#### I.1.1. Descripción:

Los compósitos de matriz metálica (CMM), son combinaciones de dos o más materiales, uno de los cuales es un metal. Ingenierilmente los CMM se constituyen por fibras y partículas continuas o discontinuas en el metal.

Inicialmente los CMM fueron desarrollados con el propósito de combinar las propiedades mecánicas del metal, especialmente la ductilidad, con la estabilidad a alta temperatura de los cerámicos. La función del material cerámico es la de soportar la mayor carga aplicada, a la vez que la matriz enlaza a las partículas reforzantes transmitiendo y distribuyendo la carga externa sobre éstas. Para lo cual es necesaria una buena humectación.

Las propiedades de humectación de los cerámicos por metales líquidos son gobernadas por un número de variables, dentro de las cuales se encuentran: el calor de formación, estequiometría, concentración de electrones en la fase cerámica (valencia), reacción química interfacial, temperatura y tiempo de contacto. Junto con estas variables se puede promover la humectación del cerámico mediante: - agitación, -adición de elementos aleantes para bajar la tensión superficial, -cubrir el material cerámico por una

capa de metal, o bien promover la interacción del fundido con el material cerámico mediante el uso de ultrasonido, proceso en condiciones de alto vacío o en atmósfera de gas inerte.

#### I.1.2. Tipos de matriz y materiales reforzantes.

Entre los compósitos fabricados se encuentra que los materiales utilizados como matriz son: -Magnesio, -Níquel, -Cobre, -Zinc, -Titanio, -Litio, -Plomo, y -Aluminio o sus aleaciones, etc, siendo la importancia de el uso de éstos el que presentan mayor ligereza en relación con los materiales convencionales.

Los tipos de cerámico que se utilizan en la fabricación de compósitos son: -Zircon, -Carburo de boro, -Carbón grafito, -Alúmina, -Talco, -Carburo de silicio entre otras. Los cuales pueden presentar forma fibrosa o geométrica (regular o irregular).

En esta tabla se presentan las combinaciones de Matriz-Reforzante usadas para hacer compósitos por fundición<sup>(13)</sup>.

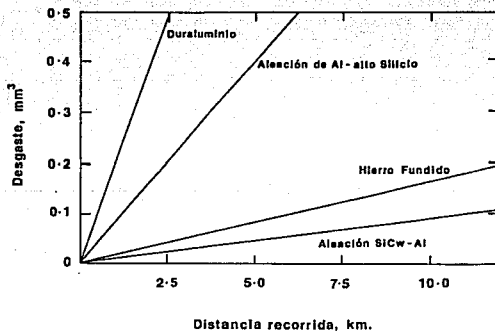
Matriz	Reforzante	Tamaño	Cantidad
Aleaciones base aluminio.	Hojuelas de grafito	20-60µm	0.9 a 0.815 <sup>a</sup>
	Grafito granular	15-500µm	1 a 8 <sup>a</sup>
	Esféras de carbón	40µm, φ	.....
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> partículas	3-200µm	3 a 30 <sup>a</sup>
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> discontinuas	3-6mm long.	0 a 23 <sup>b</sup>
		15-25µm dia.	.....
	SiC partículas	16-120µm	3 a 20 <sup>a</sup>
	SiC whiskers	15-10µm	0.5 <sup>b</sup>
	Mica.	40-180µm	3 a 10 <sup>a</sup>
	SiO <sub>2</sub>	5-53µm	5 <sup>a</sup>
	Zircón	40µm	0 a 30 <sup>a</sup>
	Part. Vidrio	100-150µm	8 <sup>a</sup>
	Esféras vidrio	100µm, φ	30 <sup>a</sup>
	Esféras de MgO	40µm, φ	10 <sup>a</sup>
	Arena	75-120µm	36 <sup>b</sup>
	TiC partículas	46µm	15 <sup>a</sup>
	Nitruro de Boro	46µm	8 <sup>a</sup>
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> partículas	40µm	10 <sup>a</sup>	
ZrO <sub>2</sub>	5-80µm	4 <sup>a</sup>	
TiO <sub>2</sub>	5-80µm	4 <sup>a</sup>	
Aleaciones base cobre.	Grafito	.....	.....
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11µm	74 <sup>b</sup>
	ZrO <sub>2</sub>	5µm	2 a 12 <sup>b</sup>
Acero	TiO <sub>2</sub>	8µm	.....
	CeO <sub>2</sub>	10µm	.....
	Ililita	753µm	3 <sup>a</sup>
	Esféras de grafito	.....	.....
Metal babbitt base estaño	Partículas de C.	.....	.....
	Alúmina	.....	.....
Aleaciones base estaño	Zn	.....	.....
Aleaciones base magnesio	Fibras de C.	.....	40 <sup>b</sup>
Aleaciones base zinc	Grafito cubierto con níquel	.....	.....
	Plomo	.....	7 <sup>a</sup>
		.....	.....
<sup>a</sup> % en peso	<sup>b</sup> % en volumen		

TABLA 1



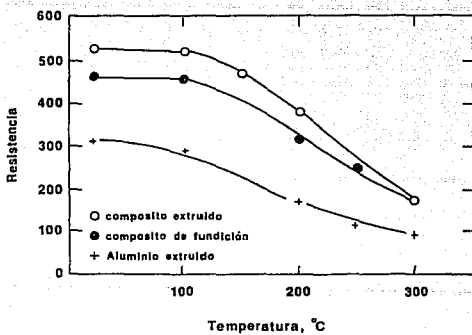
### 1.1.3. Propiedades:

Las propiedades obtenidas en los CMM son función directa de ambos constituyentes. Las propiedades modificadas en comparación con las presentadas en las aleaciones son: -Tensión, -Fatiga, -Dureza, -Coeficiente de expansión térmica, -Conductividad eléctrica y térmica, -Resistencia al desgaste, - Módulo elástico etc. En las siguientes gráficas se presentan algunos comportamientos de estas propiedades.<sup>(4)</sup>



Resistencia al desgaste de compósitos SiCw-Aluminio y varias aleaciones; las pruebas se realizarán sobre un disco de hierro colado<sup>(4)</sup>.

FIGURA 1



Resistencia tensil en función de la temperatura<sup>(4)</sup>.

FIGURA 2

En la siguiente tabla se observan las características y aplicaciones de los compósitos<sup>(4)</sup>.

COMPOSITO	APLICACIONES	CARACTERISTICAS
Al/Grafito	Cojinetes	Barato, ligero, autolubrificante conserva Cu, Pb, Sn, Zn
Al/Grafito, Al/SiC Al/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pistones de automóvil, anillos para pistón.	Reduce la resistencia al desgaste, ligero mejora la eficiencia
Cu/Grafito	Contactos de deslizamiento eléctrico	Excelente conductividad
Al/SiC	Impulsores para turbocargadores	Uso a alta temperatura
Al/Vidrio, Al/C Mg/C fibras	..... Estructuras espaciales	Materiales ultraligeros Sin expansión térmica, tensión a alta temperatura
Al/Zircon, Al/SiC	Herramientas de corte	Materiales duros resistentes a la abrasión.

TABLA 2

Haciendo énfasis en las características y aplicaciones de los compósitos Al-SiC, se tiene que presentan una alta resistencia y rigidez cuando las partículas están distribuidas uniformemente. También presentan mayor dureza, resistencia a la abrasión y alto módulo específico. Así como estabilidad a altas temperaturas, que conjuntando las características anteriores con su ligereza, tienen un amplio rango de utilidad. Las aplicaciones de estos materiales en el área automotriz<sup>(14)</sup> son piezas tales como: pistones, anillos para pistón, discos de frenos, impulsores de turbo cargadores, herramientas de corte, baleros etc.

## 1.2. MÉTODOS Y FORMAS DE FABRICACION.

Los compósitos se han fabricado por diferentes técnicas de incorporación, la clasificación de estas técnicas según Pradeep Rohatgi<sup>(1,13)</sup> se presentan en la TABLA 3.

### Técnicas para introducir partículas en un metal fundido

Técnica	Reforzante	Matriz
Inyección de gas	Grafito, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> y SiC cubiertas con Ni o Cu.	Aleaciones de Al o Zn.
Inyección de líquidos (infiltración)	WC o Mo TiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ZrO <sub>2</sub> , CeO <sub>2</sub>	Cobre
Método del pellets	Grafito cubierto de Cu o Ni (20-200µm) SiC en whiskers (0.1-1µm φ, 5-50µm long)	Al o aleaciones de aluminio Aleaciones de aluminio
Método de Vortex	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> fibras (23%)  Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> partículas (4%) Vidrio (8%), cuarzo (2.5%) Grafito (3%), mica (2%), zircón (60%)	Al o aleaciones de aluminio  Aluminio
Dispersión por ultrasonido	Plomo, SiO <sub>2</sub>  Grafito, vidrio, óxidos, boratos, carburos Alúmina	Al, Zn y duraluminio  Aluminio Aleaciones Sn-Ti
Dispersión centrífuga	Esféras de C (40µm φ 1-2µm espesor)	Al y aleaciones Al o Sn
Dispersión química	Nitruro de Ti  Borato de torio, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aceros inox. austeníticos Aleaciones de Cu.

% es en peso

TABLA 3

Otras formas de agrupar las técnicas de incorporación son:

1.2.1 Por agitación mecánica. En ésta técnica se efectúa la incorporación del cerámico mediante un sistema de agitación mecánico donde el metal se encuentra fundido o parcialmente fundido. Las técnicas de inyección por gas y de vortex pertenecen a esta clasificación.

1.2.2. Por inyección de líquido. En esta técnica la incorporación se realiza mediante la inyección del metal líquido a un molde preformado de partículas o la inyección de partículas al metal líquido. Perteneciendo a esta técnica la colada por infiltración e infiltración al vacío (squeeze casting).

-) Colada por infiltración. Primero se forma un molde con las partículas reforzantes, el cual es preparado con la fracción en volumen que sea requerido utilizando un método similar al empleado para la fabricación de filtros cerámicos. Este molde es precalentado a  $700^{\circ}\text{C}$  e introducido en otro molde el cual ha sido calentado a  $300^{\circ}\text{C}$ . La aleación fundida se cuela aproximadamente a  $800^{\circ}\text{C}$ , e inmediatamente se infiltra por presión y se solidifica usando una presión de 100 MPa.

El material obtenido se utiliza para extrusión y al finalizar dicho proceso, el material es sometido a un tratamiento térmico para eliminar tensiones.

-) Infiltración al vacío. El principio de este proceso es similar al anterior, pero en lugar de un apisonador se utiliza un

gas inerte para presionar el metal líquido dentro del molde preformado.

I.2.3 Agitación electromagnética. El flujo turbulento causado por la agitación electromagnética en el molde, proporciona la suspensión uniforme de partículas.

I.2.4 Compresión de polvos. El material ocupado como matriz al igual que el material reforzante deben estar pulverizados, se hace la mezcla de éstos, comprimiendolos y posteriormente sinterizandolos. Mediante esta técnica es posible obtener piezas terminadas con una buena distribución de partículas y excelentes propiedades. Se debe mencionar que esta técnica es realizada en estado sólido.

### 1.3. TECNICA DEL VORTEX.

Debido a que la técnica utilizada en el desarrollo de este trabajo fué la del vortex, es necesario describirla.

Esta técnica es una variante del método de agitación mecánica en estado líquido donde la agitación se realiza con la ayuda de un impulsor.

La técnica del vortex consiste en crear un remolino en el metal fundido para que al adicionar las partículas cerámicas estas sean incorporadas al metal.

Se han realizado diversas pruebas por estas técnicas utilizando diferentes diseños de equipo y varias condiciones de trabajo, como a continuación se presenta:

Procedimiento utilizado por M.K. SURAPPA, P.K. ROHATGI<sup>(9)</sup>.

Utilizarón el método del vortex para la preparación de compósitos Al - alúmina, Al - illita y Al - SiC. Reportan que las dificultades para la fabricación de compósitos por esta técnica son:

- a) La ausencia de humectabilidad entre el metal líquido y las partículas cerámicas a temperaturas empleadas en la práctica convencional de fundición,
- b) La segregación de partículas debido a la diferencia de densidad entre el metal y las partículas cerámicas.



Las variables de proceso que manejarón son:

- tratamiento térmico de partículas a  $900^{\circ}\text{C}$  por una hora,
- tamaño de partícula entre 10 y 200 micras,
- temperatura del fundido durante la alimentación de partículas ( $740 - 780^{\circ}\text{C}$ ),
- rapidez de adición (30 - 40 g/min.),
- porcentaje de partículas y ~ desgasificación del material fundido antes y después de la adición de partículas.

En cuanto a propiedades reportan un incremento en la resistencia tensil y dureza, de  $75.5 \text{ MNm}^2$  y 27 BHN a  $93.15 \text{ MNm}^2$  y 37 BHN, para aluminio con 3% de alúmina; para aleaciones con 11.8 %Si, disminuye de  $156.89 \text{ MNm}^2$  a  $122.57 \text{ MNm}^2$ , con 3% de alúmina.

A. Banerji. M.K.Surappa y P.K Rohatgi<sup>(2)</sup>.

Utilizarón un proceso similar al método del vortex para mezclar partículas de zircón en aluminio líquido, el equipo que utilizaron consistió en un horno de resistencias y un agitador ensamblado como se muestra en la FIGURA (3a). El agitador ensamblado consiste de un aspa de acero que se colocó a un motor de velocidad variable (rango de velocidad de 100 a 1000 RPM.). El aspa consiste de tres placas de acero soldadas con un ángulo de  $120^{\circ}$  entre ellas, y se cubrió con una pintura cerámica para prevenir la disolución. FIGURA (3b).

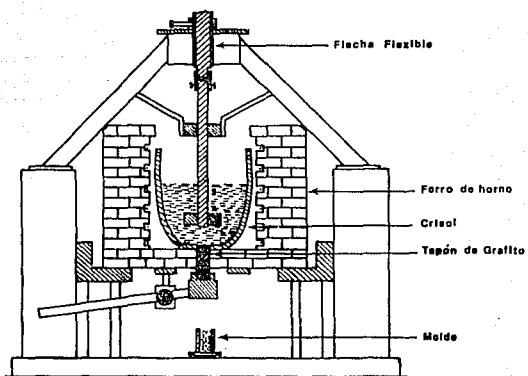


FIGURA 3a) Equipo

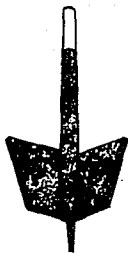


FIGURA 3b) Aspa de mezclado

FIGURA 3

Los resultados reportados fueron:

- La presencia de Mg en aluminio facilito la adición y retención de zircón debido a que:

- 1) Disminuye la tensión superficial,
- 2) El magnesio enriquece la superficie del zircón
- 3) Una posible reacción química entre el magnesio y las partículas de zircón.

- La temperatura optima de mezclado se encontro en un rango de 740 a 800°C, para temperaturas menores a 700°C se presento dificultad en la dispersión de partículas tal vez debido a la disminución de humectabilidad por la baja temperatura, de manera similar ocurre en los sistemas Al- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Al-Grafito.

- En cuanto a la distribución, la frecuencia máxima de espacio entre partículas se encontro muy cercana al del porcentaje que indica una distribución uniforme de partículas de zircón.

- La dureza y la resistencia al desgaste abrasivo para aluminio con 3% de Mg, aumenta con el incremento de % de zircón. La resistencia a la tensión, el módulo elástico y la tensión al 0.2% se incrementan con el contenido de zircón y el porcentaje de elongación disminuye.

Procedimiento utilizado por P.K.GHOSH y S.RAY<sup>(3)</sup>.

Ellos utilizaron un crisol con un émbolo de grafito en el fondo de éste, un impulsor con hojas de espesor de 3mm, conectado a una flecha de acero suave. El tamaño del impulsor fué estimado de la relación de  $d/D$ , donde  $D$  es el diámetro de la superficie del metal dentro de la cual se colocará el impulsor y  $d$  es el diámetro de la aspa.

La posición del impulsor dentro del metal fué estimada como una relación  $h/H$  donde  $h$  representa la altura del impulsor desde el fondo del crisol y  $H$  la profundidad del impulsor desde la superficie del metal. FIGURA (4).

FIGURA 4

Las condiciones con las que trabajaron fueron temperatura entre 710 y 730° C, tamaño de partícula entre 65 y 195 micras, velocidad de agitación máxima de 4000 RPM. Las partículas fueron precalentadas a 900° C antes de ser adicionadas.

El objetivo de este procedimiento fué para determinar la influencia de los parámetros sobre el contenido de porosidad en compósitos producidos por el método del vortex.

La porosidad en los compósitos se incrementa proporcionalmente con el aumento en la velocidad de agitación, tamaño del aspa y posición; es decir, la distancia desde el fondo del crisol hasta una cierta altura además del nivel de retención de partículas de alúmina.

Sin embargo la porosidad de los compósitos aumenta con la disminución de la temperatura del baño metálico.

A continuación se muestran figuras que reflejan el comportamiento de dichos parámetros. FIGURAS (5), (6), (7), (8) Y (9)

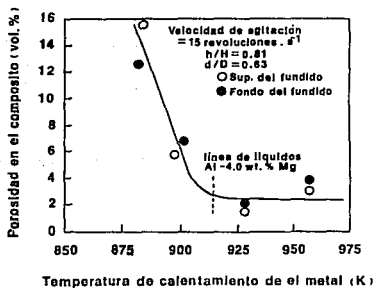
La porosidad en los compósitos cambia significativamente con alguna variación de parámetro en el proceso. Observandose los siguientes efectos:

La figura 5 muestra los efectos de la temperatura sobre el contenido de porosidad en los compósitos cuando otros parámetros del proceso son: velocidad de agitación 16 rps, h/H igual a 0.81, d/D igual a 0.63

En dicha figura se observa que cuando la temperatura es cercana a la temperatura de solidus (875 K) de la aleación Al - 4% Mg la cantidad de porosidad aumenta.

Sin embargo el contenido de porosidad disminuye drásticamente con el aumento de temperatura, cuando se observa una porción solidificada de compuesto.

El aumento de temperatura después de la temperatura de liquidus (915 K) de la aleación no refleja algún efecto significativo en el contenido de porosidad.



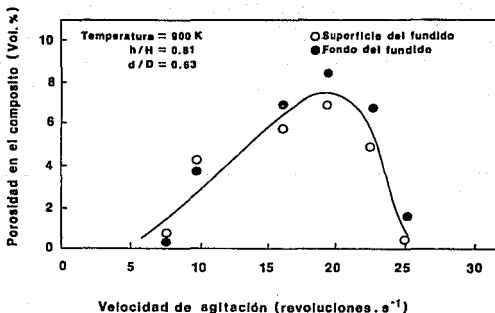
Efecto de la temperatura.  
sobre el contenido de porosidad

FIGURA 5

De acuerdo al incremento de velocidad, el contenido de porosidad va aumentando en el compuesto cuando la temperatura es de 900 K, la relación  $h/H$  es 0.81 y la relación  $d/D$  es 0.63

En la figura 6, porosidad del compuesto se incrementa cuando la velocidad es de 19 rps.

Encontrándose que después del valor superior del contenido de porosidad, para una velocidad de 19 rps, conforme va en aumento la velocidad el contenido de porosidad disminuye.

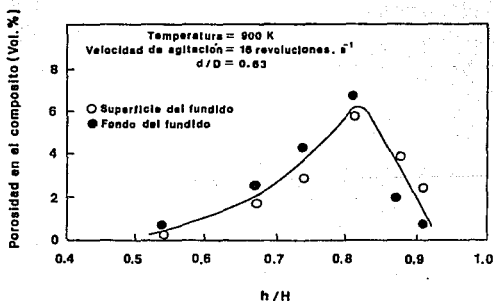


Efecto de la velocidad de agitación.

FIGURA 6

La figura 7 muestra que un incremento en la relación  $h/H$  aumenta el contenido de porosidad en el compuesto cuando los otros parámetros del proceso son: temperatura de 900 K, relación  $d/D$  igual a 0.63 con 16 rps constante como velocidad de agitación.

El valor máximo de contenido de porosidad se tiene cuando  $h/H$  es 0.81, pero conforme se aumenta dicha relación, decrece el nivel de porosidad relativamente rápido.



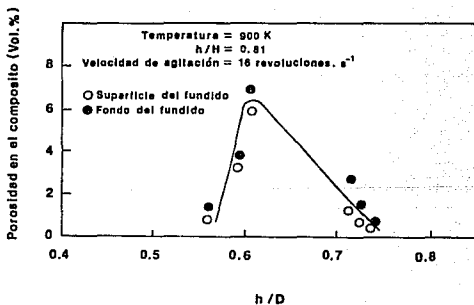
Efecto de la posición del aspa.

FIGURA 7



En la figura 8, se muestra que el contenido de porosidad crece drásticamente con el incremento de la relación  $d/D$  desde 0.56 hasta 0.63. Los otros parámetros del proceso son temperatura de 900 K, velocidad de agitación 16 rps y una relación  $h/H$  de 0.81.

Después de un valor de 0.63 el contenido de porosidad disminuye conforme aumenta la relación  $d/D$ .

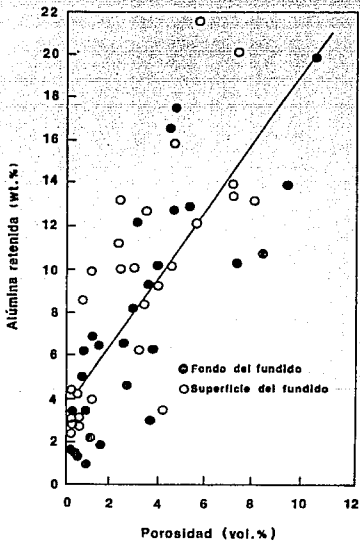


Efecto del tamaño del aspa.

FIGURA 8

La figura 9 muestra la variación del contenido de porosidad con el incremento de partículas de alúmina retenidas.

Se observa que el contenido de porosidad se incrementa linealmente con el contenido de alúmina retenida.



Variación de la porosidad  
en función del incremento en la alúmina retenida.

FIGURA 9

De acuerdo con los resultados anteriores, los autores concluyen lo siguiente:

La porosidad en el compósito inicialmente se incrementa con el aumento en la velocidad de agitación y las relaciones de  $d/D$  y  $h/H$  sobre un cierto valor. Esto sigue un decremento a lo largo con los incrementos en los valores de variables.

El incremento en la temperatura reduce el contenido de porosidad en el compósito. La porosidad se incrementa linealmente con el nivel de retención de alúmina, indicando que la incorporación de alúmina y la porosidad pueden ser atribuidos a un proceso similar.

La porosidad en el compósito es el resultado principal de la introducción de burbujas. Independientemente de la succión existente en el vortex o el envolvimiento de las partículas.

F.Rana, B.K. Dhindaw, D.M. Stefanescu<sup>(3)</sup>. Realizaron un experimento para obtener la optimización del proceso y de las variables involucradas en la dispersión de partículas de SiC en una matriz de Aluminio.

Para esto utilizaron un horno de resistencia y un crisol de grafito, todo bajo una atmósfera de argón. Para la dispersión de SiC, se utilizó una técnica de mezclado mecánico.

El cálculo para forma, dimensiones y posición del agitador se hicieron en base a la relación empírica de Zwietering, para lograr una completa suspensión.

La relación empírica de Zwietering se muestra a continuación y en la FIGURA 10 se presenta el esquema:

$$n = \frac{S^{0.1} X^{0.2} (g\Delta\rho/\rho)^{0.45} B^{0.18}}{D^{0.25}}$$

donde:  $S = k(T/D)^2$ .

$n$  = mínima velocidad de agitación.

$S$  = cantidad adimensional.

$X$  = tamaño de partícula (  $\mu\text{m}$  ).

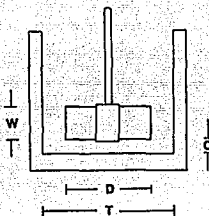
$g$  = aceleración de la gravedad (  $9.81 \text{ m/s}^2$  ).

$\Delta\rho = \rho_s - \rho_l$ .

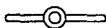
$\nu$  = viscosidad del Aluminio (  $7.4 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  ).

$B$  = % sólidos ( 15% ).

$D$  = diámetro del aspa ( m )



- T.- Diámetro del crisol (0.095m)
- D.- Diámetro del agitador (0.06m)
- C.- Distancia entre el agitador y el fondo del crisol (0.001m)
- W.- Altura del agitador (0.03m)



Relación del agitador  $D/W = 2$

FIGURA 10

En la siguiente tabla se resumen las variables que utilizaron en su experimento:

Variable	Valor Bajo	Valor Alto
Tiempo de mezclado	1 min.	3 min.
Temperatura de mezclado	750°C	850°C
Velocidad de mezclado	750 rpm.	1050 rpm.
Rapidez de alimentación	26 g/min.	56 g/min.
Porciento en peso de SiC	12.5 %	15 %
Promedio de tamaño de partículas.	50 $\mu$ m	100 $\mu$ m

De acuerdo a sus resultados los valores óptimos de las variables experimentales fueron:

- Tiempo de mezclado 3 min.
- Temperatura de mezclado 750°C.
- Velocidad de mezclado 1050 RPM.
- Rapidez de alimentación 26 g/min.
- Porciento en peso de Carburo 12.5%.

Estos valores fueron para ambos tamaños de partícula.

## CAPITULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

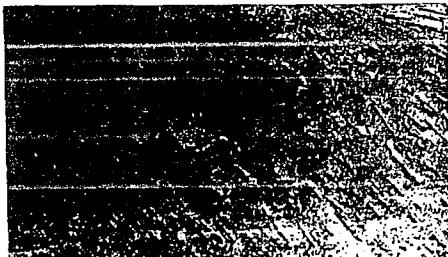
Para lograr el objetivo de este trabajo se estableció el siguiente desarrollo experimental.

### II.1. MATERIAL UTILIZADO:

La matriz es una aleación de aluminio FIGURA 11, de densidad de  $2.7 \text{ g/cm}^3$  y composición:

%Fe	%Cu	%Mn	%Zn	%Mg	%Si
1.189	0.107	0.278	0.354	0.249	0.006

Como material reforzante se utilizó partículas de Carburo de Silicio (SiC), de densidad de  $3.4 \text{ g/cm}^3$ , y de mallas 120 ( $120\mu\text{m}$ ) y 280 ( $57\mu\text{m}$ ). El cual se empleo en condiciones de llegada, solo se analizó el tamaño de partículas.

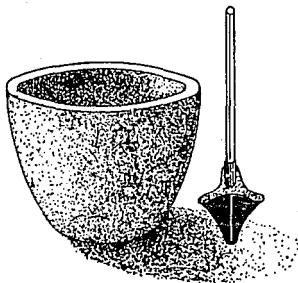


Fotografía a 100x de la microestructura de la aleación base. La cual consiste de la fase Hierro en una matriz de Aluminio.

FIGURA 11

**EQUIPO:**

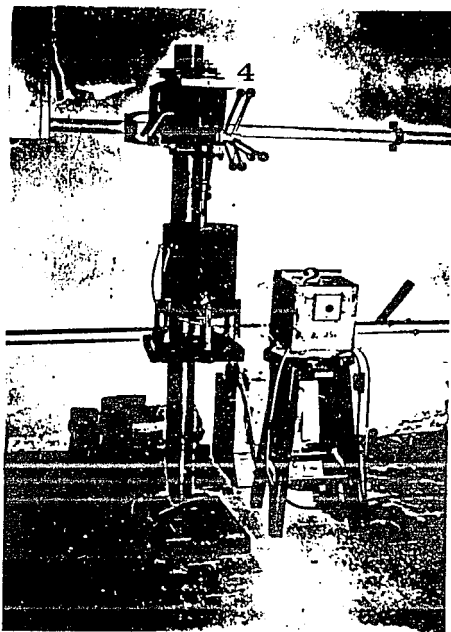
El equipo de trabajo consistió en un horno de resistencias con crisol de carburo de silicio, con capacidad de 2 Kg Cu, termóstato, multímetro, termopar tipo K, motor de velocidad variable y un aspa de acero 1010 recubierta de pintura refractaria (Zircón). En las FIGURAS 12a y 12b se presenta el equipo.



**Crisol con flecha de mezclado.**

**FIGURA 12 a**



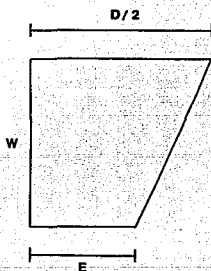


Equipo utilizado: (1)Horno, (2) Controlador de temperatura  
(3) Aspa (flecha), (4) Motor de velocidad variable.

FIGURA 12 b

## II.2 DISEÑO DEL ASPA.

El diseño del aspa se realizó de acuerdo a los modelos propuestos por Rana<sup>(3)</sup>, Banerji<sup>(2)</sup> y Ghosh<sup>(3)</sup>, de manera que el aspa consiste de tres placas unidas a un vástago con un ángulo de  $120^\circ$  entre ellas, como se muestra en la FIGURA (13).



$$E = 0.8 D$$

$W$  = altura del aspa

$D$  = diámetro del aspa

$C$  = distancia entre el aspa y el fondo del crisol

$T$  = diámetro del crisol

Diseño del aspa (flecha)

FIGURA 13

Las dimensiones del aspa se obtuvieron utilizando el modelo de Rana, haciendo los cálculos correspondientes para un crisol de 2 Kg Cu de capacidad, cuyo diámetro es de 8 cm., obteniéndose las dimensiones siguientes:

Diámetro del crisol..... = 0.08 m

Diámetro del aspa.....  $\frac{0.08\text{m}}{1.3} = 0.05\text{ m}$

Altura del aspa.....  $= W = \frac{D}{2} = \frac{0.05}{2} = 0.025\text{ m}$

La forma de la hoja del aspa propuesta en este modelo fué cuadrada y el arreglo consistió de dos hojas colocadas en el vástago con un ángulo de  $180^{\circ}$ , la cual se cambió a la forma propuesta por Banerji, él propuso una forma trapezoidal y el arreglo consistió en tres hojas colocadas en el vástago con un ángulo de  $120^{\circ}$  entre ellas, como se muestra en la FIGURA (13).

### II.3. DISEÑO DE EXPERIMENTO

Las variables a manejar son: tamaño y cantidad de SiC, velocidad y tiempo de agitación, rapidez de alimentación y temperatura del material fundido, con el propósito de aumentar la incorporación y distribución de partículas, así como observar el efecto de estas variables con la presencia de porosidad y la disolución de las partículas.

Las condiciones se presenta en la TABLA 5

Tamaño ( $\mu\text{m}$ )	Velocidad (RPM)	Cantidad (% vol.)	Tamaño ( $\mu\text{m}$ )	Velocidad (RPM)	Cantidad (% vol.)
57	875	5%	120	875	5%
		10%			10%
		15%			15%
		20%			20%
	1165	5%		1165	5%
		10%			10%
		15%			15%
		20%			20%

TABLA 5

#### II.4. CONDICIONES EXPERIMENTALES.

Los valores de las variables con las que se trabajó fueron:

VARIABLES	MINIMO	MAXIMO
Temperatura de incorporación	750°C	790°C.
Velocidad de alimentación	20 g/min.	40 g/min.
Tiempo de agitación	3 min.	5 min.
Temperatura de vaciado	690°C	780°C.
Las velocidades de trabajo fueron ; 875 y 1165 RPM.		

## II.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Se preparó la carga metálica y cerámica en función del % en volumen. Cuando el horno estuvo a la temperatura de trabajo, (850°C), se introdujo el aluminio, cuando éste se hubo fundido y la temperatura era de 750 y 790°C, se inició la agitación y simultáneamente se adicionaron las partículas. Al terminar de agragarlas se continuó agitando hasta completar el tiempo establecido, (3 a 5 min. ), al concluir éste se midió y registro la temperatura y si ésta era mayor a 690° C se vaciaba inmediatamente, si era menor o el material se encontraba en estado pastoso se mantenía dentro del horno para incrementar la temperatura a la cual se podía vaciar sin dificultad.

Los lingotes obtenidos se prepararon para el análisis metalográfico y de distribución de partículas.

La sección a analizar se obtuvo mediante el corte transversal de los lingotes, como se muestra en la FIGURA 14a.

La preparación metalográfica de las muestras consistió en corte y desbaste en lijas 240 a 600 y finalmente se pulieron sobre un paño utilizando alúmina de 1µm, para evitar la oxidación y lograr un mejor trabajo metalográfico, se usaron sales disueltas en el lubricante (agua) como tartrato de amonio ó persulfato de amonio además de pulir a bajas velocidades. Posteriormente se realizó la observación al microscopio y se tomaron fotografías de cada muestra, sin ataque.

Para el análisis de distribución de tamaño fué necesario seccionar

la muestra en tres zonas, designándolas como zona superior, central e inferior. Los datos obtenidos para cada zona fueron graficados (cantidad de partículas vs tamaño de partícula). También se graficó el porcentaje de partículas contra tamaño para cada muestra con el propósito de discutir el efecto de la velocidad de agitación sobre la incorporación de las partículas.

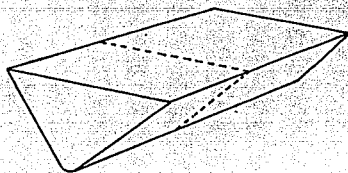


Figura del lingote y corte.

FIGURA 14 a



Sección analizada.

FIGURA 14 b

### CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSION.

EL análisis metalográfico realizado a cada una de las secciones muestra, que la incorporación de SiC en de la matriz de Al, se efectuó mediante el método del vortex.

Por medio del estudio metalográfico fué posible observar las partículas dispersas en la matriz metálica, en todas las microestructuras del APENDICE 1, ( Fotografías 1 a 16 ) se verifica la incorporación de las partículas, logrando apreciar el incremento en la cantidad de éstas conforme el nivel de adición fué aumentado, es decir 5, 10 15 y 20% en volumen.

Posteriormente, mediante un análisis gráfico efectuado a cada una de las muestras se observó la distribución del tamaño de las partículas incorporadas, la cual presenta una similitud con respecto a la distribución de tamaño de partículas del SiC antes de ser adicionado. APENDICE 2 ( Gráficas 1 a 16 ).

\* Cuando se tiene una mayor cantidad de partículas en la zona inferior y una menor cantidad en la zona superior, se debe a una falta de humectación en éstas, debido a que el tiempo de agitación no fué suficiente. Esto se observa en el APENDICE 2 . ( Gráficas 3 8, 14 y 15 ).

\* Cuando se tiene una menor cantidad de partículas en la zona inferior y una mayor cantidad en la zona superior, se puede decir

que se debe a que cuando se aumenta la cantidad de SiC, disminuye la temperatura del baño metálico durante el proceso, por lo que es necesario incrementar la después de la agitación. Esto provoca que en el crisol se tenga un asentamiento de partículas por lo que al vaciar a la lingotera se tiene una mayor cantidad de partículas en la parte superior de la muestra. Esto se observa en el APENDICE 2 ( Gráficas 1, 5, 10 y 12 ).

\* Para las muestras donde la cantidad de partículas es uniforme en las 3 zonas se puede decir, - que el tiempo de agitación fué suficiente para lograr la humectación, - no hubo un descenso en la temperatura del baño, - se procedió a vaciar inmediatamente después de la agitación. Esto se puede observar en el APENDICE 2 ( Gráficas 2, 4, 6, 9, 11, 13 y 16 ).

Haciendo la comparación de las gráficas donde las variables son % Acumulado vs Tamaño de partícula, para las dos velocidades se observa que :

Para el tamaño de partícula de 57  $\mu\text{m}$  de acuerdo al % Acumulado existe una mejor distribución para la velocidad de 1165 rpm con la particularidad de la muestra con 5% SiC ( Gráficas 17, 18, 19 y 20 ).

Para el tamaño de partícula de 120  $\mu\text{m}$  de acuerdo al % Acumulado existe una mejor incorporación con la velocidad de 875 rpm, a excepción de la muestra con 15% SiC ( Gráficas 21, 22, 23 y 24 ).



En las gráficas % Partícula vs Tamaño de partícula, se puede apreciar que la mejor incorporación se obtuvo en las muestras con 10% SiC y 1165 rpm ( gráficas 25, 26, 27 y 28 ).

Al realizar la comparación entre la distribución de tamaño del Carburo de Silicio antes de adicionarlo y la distribución del tamaño del Carburo de Silicio en el Aluminio, en las muestras, se observa que el tamaño de las partículas en ambas distribuciones es la misma por lo que se puede inferir que no hubo disolución. De acuerdo a la bibliografía, se sabe que la disolución se efectúa por arriba de una temperatura de 780°C.

El nivel de porosidad se presenta en todas las muestras por igual, ya que a ninguna de las muestras se les hizo un tratamiento al metal líquido.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TABLA DE ESPECIFICACIONES DE FOTOGRAFIAS Y GRAFICAS

			No.				No.
Malla	875 RPM	5%	1	Malla	875 RPM	5%	9
		10%	2			10%	10
		15%	3			15%	11
		20%	4			20%	12
280	1165 RPM	5%	5	120	1165 RPM	5%	13
		10%	6			10%	14
		15%	7			15%	15
		20%	8			20%	16

\* No.- Corresponde al número de fotografía y gráfica.

## CONCLUSIONES

El principal objetivo de esta tesis consiste en proporcionar las condiciones básicas para futuros trabajos de fabricación de composites por agitación mecánica, así como para obtener los datos, de los cuales se pueda partir para conseguir un material comercial el cual pueda ser reproducible sin grandes variaciones, y al que se le puedan realizar las pruebas necesarias que permitan comprobar la semejanza o superioridad a los materiales convencionales.

De los resultados obtenidos y de las observaciones tenemos que:

1.- Mediante el uso de la técnica del vortex es posible realizar la incorporación de partículas de SiC en una matriz de Aluminio.

2.- El comportamiento de distribución de tamaño de las partículas de SiC, antes y después de la incorporación en la matriz de aluminio es semejante.

3.- La velocidad de agitación desempeña un papel importante, porque conforme aumenta ésta, la incorporación se incrementa, dentro de las condiciones de velocidad utilizadas en este desarrollo ( 875 y 1165 RPM ).

4.- Bajo las condiciones de trabajo no se presentó disolución de SiC.

5.- La mejor incorporación se presentó con 10% de SiC adicionado.

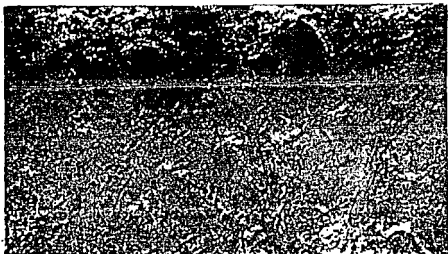
## BIBLIOGRAFIA

- 1) Pradeep Rohatgi. Cast Metal-Matrix Composites. Metals Hand Book. 1988. Vol. 15 pp 840-854.
- 2) A. Banerji, M. K. Surappa, P. K Rohatgi. Cast Aluminum Alloys Containing Dispersions of Zircon Particles. Metallurgical Transactions B. vol. 14B. June 1983. pp 273-283.
- 3) F. Rana, B. K. Dhindaw, D. M. Stefanescu. Optimization of SiC Particle Dispersion in Aluminum . Metal-Matrix Composites. AFS Transactions. 1989 pp 255-264.
- 4) K. Dhori, H. Watanabe, Y. Takeuchi. Silicon Carbide Whisker Reinforced Aluminium Composites-Fabrication and Properties. Materials Science and Technology. vol. 3. January 1987. pp 57-60.
- 5) P. K. Ghosh, S. Ray. Influence of Process Parameters on the Porosity Content in Al(Mg)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Cast Particulate Composite Produced by Vortex Method. AFS Transactions. 1988. pp 775-778.
- 6) M. K. Surappa, P. K Rohatgi. Preparation and Properties of Cast Aluminium-Ceramic Particles Composites. Journal of Materials Science. 16 (1981). pp 983-993.
- 7) A. K. Gupta, T. K. Dan, P. K. Rohatgi. Aluminium Alloy-Silica sand Composites: Preparation and Properties. Journal of Materials Science. 21 (1986). pp 3413-3419.
- 8) K. K. Chawla. Journal of Metals. December 1985.

- 9) Tadaniko Miyoshi, Hironori Kadama, Hiroshi Sakomato, Akhiro Gotoh, and Shiroy Iijima. Characteristics of Hot-Pressed Fiber-Reinforced Ceramics with SiC-Matrix. Metallurgical Transactions A. vol. 20A November 1989. pp 2419-2423.
- 10) B. C. Pai, P. K. Rohatgi. Production of Cast Aluminium-Graphite Particle Composites Using a Pellet Method. Journal of materials Science. 13 (1978). pp 329-335
- 11) Jinguo Yang, D. D. L. Chung. Casting Particulate and Fibrous Metal - Matrix Composites by Vacuum Infiltration of a Liquid Metal under an Inert Gas Pressure. Journal of Materials Science. 24 (1989). pp 3605-3612.
- 12) P. K. Liaw, J. G. Gregg, W. A. Logsdon. Microstructural Characterization of a Silicon Carbide Whisker Reinforced 2124 Aluminium Metal Matrix - Ceramic Particle Composites. Journal of Materials Science. 22 (1987). pp 1613-1617.
- 13) P. K. Rohatgi, R. Asthana, and S. Das. Solidification, Structures, and Properties of Cast Metal - Ceramic Particle Composites. International Metals Reviews. 1986. vol. 31 No. 3. pp 115-139.
- 14) DURALCAN USA. Division of Alcan Aluminum Corporation. 1991.

## APENDICE 1

## APPENDICE 2



4.  
FOTOGRAFIA 1. 5% en vol. de SiO<sub>2</sub> nella ZPO  
875 rpm, 100%. (s. acqua).



FOTOGRAFIA 2. 10% en vol. de SiO<sub>2</sub> nella ZPO  
875 rpm, 100%. (s. acqua).





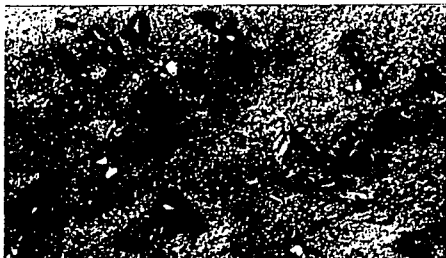
FOTOGRAFIA 3. 15% en vol. de SiC. malle 250.  
875 rpm. 100x. (s/stelecu).



FOTOGRAFIA 4. 20% en vol. de SiC. malle 270.  
875 rpm. 100x. (s/stelecu).



FOTOGRAFIA 5. 711 en vol. de 310' ca. la 380.  
1100' ca. 1000' de altitudine



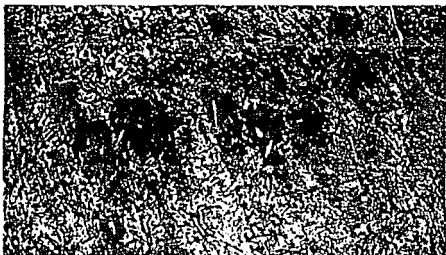
FOTOGRAFIA 6. 101 en vol. de 310' ca. la 380.  
1100' ca. 1000' de altitudine



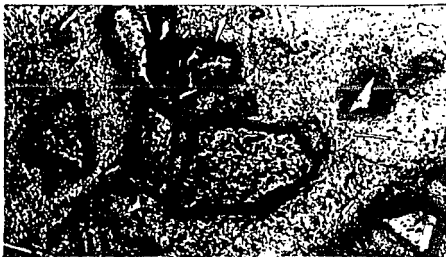
FOTOGRAFIA 7. 15% en vol. de SiO<sub>2</sub> malla 200,  
1163 rev. 100% de etanol.



FOTOGRAFIA 8. 20% en vol. de SiO<sub>2</sub> malla 200,  
1163 rev. 100% de etanol.



FOTOGRAFIA 9. 5% en vol. de SiC, malla 120.  
875 rpm. 37.5x. (a/steque).



FOTOGRAFIA 10. 10% en vol. de SiC, malla 100.  
875 rpm. 100x. (a/steque).



FOTOGRAFIA 11. 15% en vol. de SiC, malla 120.

675 rpm. 37.5% acetona.



FOTOGRAFIA 12. 20% en vol. de SiC, malla 120.

675 rpm. 37.5% acetona.



FOTOGRAFIA 13. 5% en vol. de SiC, malla 120.  
1165 rpm. 100x. (estático).



FOTOGRAFIA 14. 10% en vol. de SiC, malla 120.  
1165 rpm. 100x. (estático).



FOTOGRAFIA 15. 15% en vol. de SiC, malla 120.  
1165 rpm. 100x. (s/ataque).

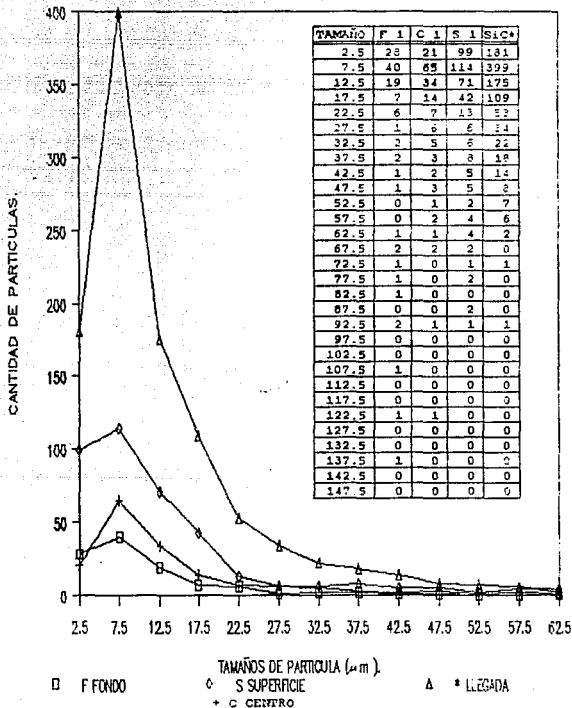


FOTOGRAFIA 16. 20% en vol. de SiC, malla 120.  
1165 rpm. 37.5x. (s/ataque).

# MUESTRA 1

5 % SIC MALLA 280, 275 RPM.

GRAFICA 1

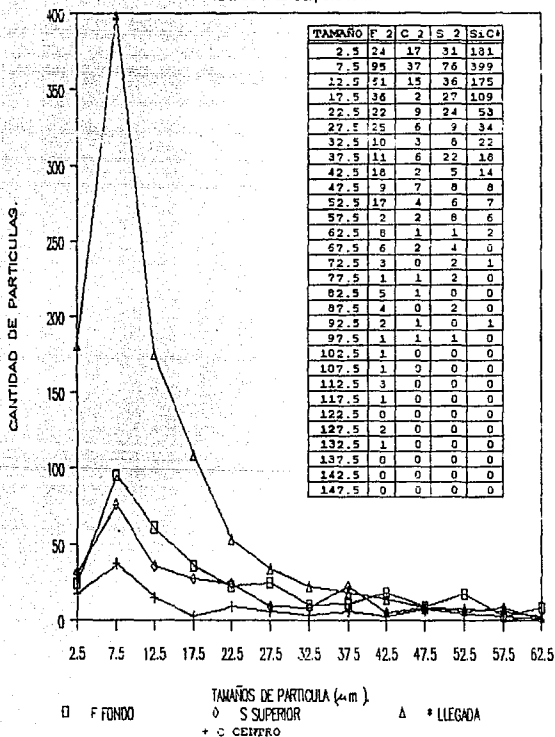




# MUESTRA 2

10 % SC MALLA 280, 875 RPM.

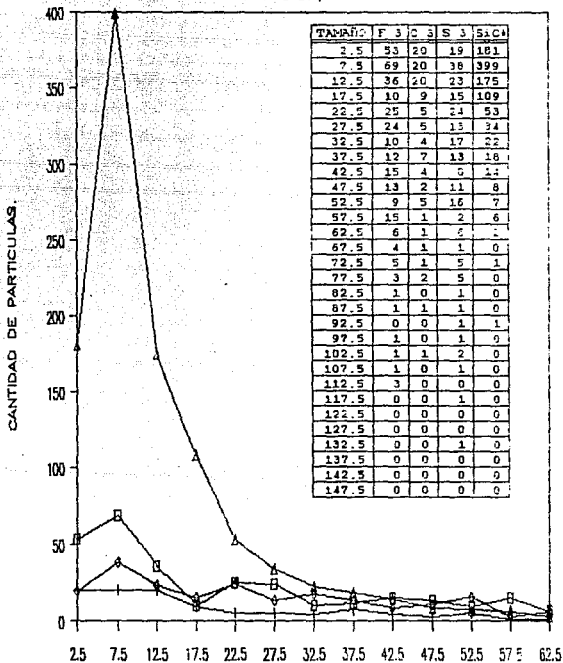
GRAFICA 2



# MUESTRA 3

15 % SC MALLA 280, 675 RPM.

GRAFICA 3



TAMANO	F	C	S	S&CA
2.5	53	20	19	101
7.5	69	20	38	399
12.5	36	20	23	175
17.5	10	9	15	109
22.5	25	5	24	53
27.5	24	5	13	34
32.5	10	4	17	22
37.5	12	7	13	18
42.5	15	4	5	14
47.5	13	2	11	8
52.5	9	5	16	7
57.5	15	1	2	6
62.5	6	1	2	1
67.5	4	1	1	0
72.5	5	1	5	1
77.5	3	2	5	0
82.5	1	0	1	0
87.5	1	1	1	0
92.5	0	0	1	1
97.5	1	0	1	0
102.5	1	1	2	0
107.5	1	0	1	0
112.5	3	0	0	0
117.5	0	0	1	0
122.5	0	0	0	0
127.5	0	0	0	0
132.5	0	0	1	0
137.5	0	0	0	0
142.5	0	0	0	0
147.5	0	0	0	0

□ FONDO

TAMANOS DE PARTICULA (µm).

◇ S SUPERIOR

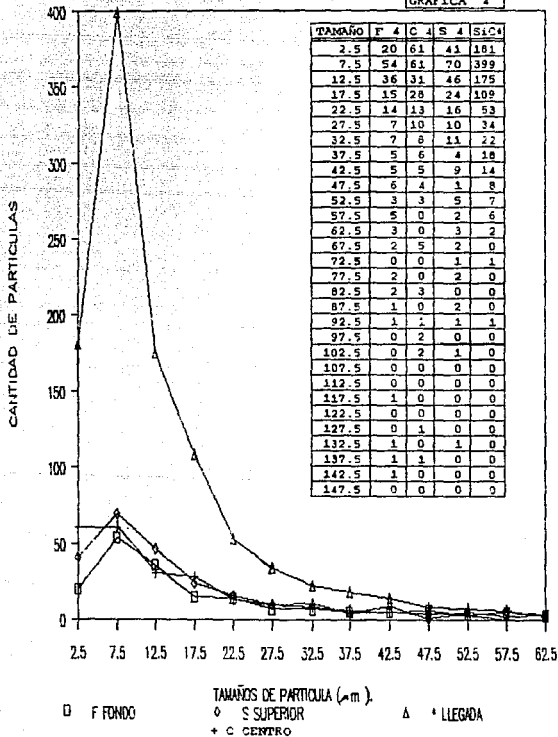
△ • LLEGADA

+ C CENTRO

# MUESTRA 4

20 % SIC MALLA 280, 875.

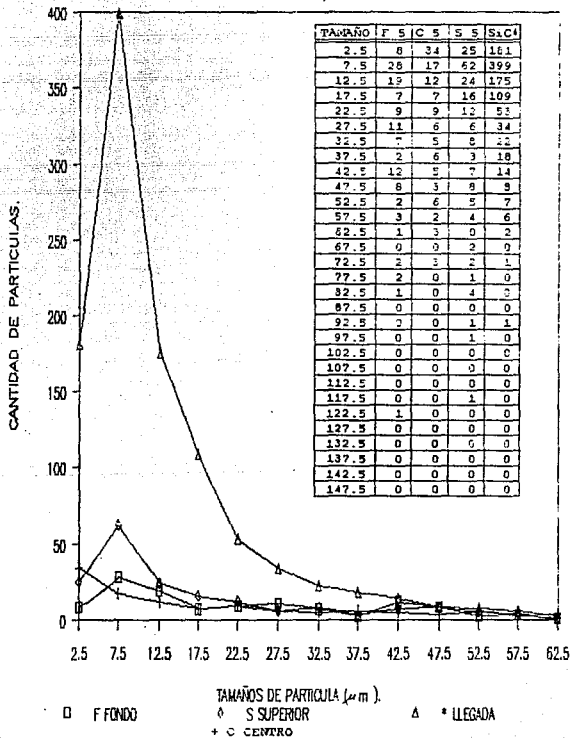
GRAFICA 4



# MUESTRA 5

5 % SIC HALLA 280,1165 RFM.

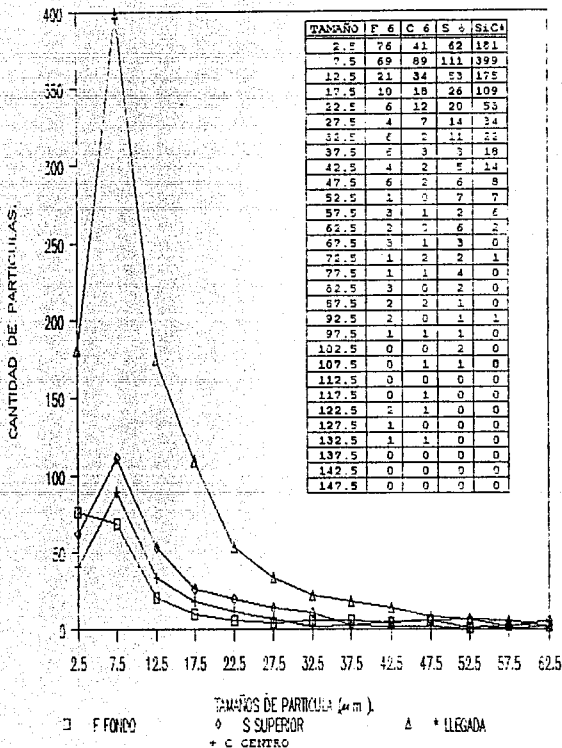
GRAFICA 5



# MUESTRA 6

10 % SG MALLA 260, 1165 RPM

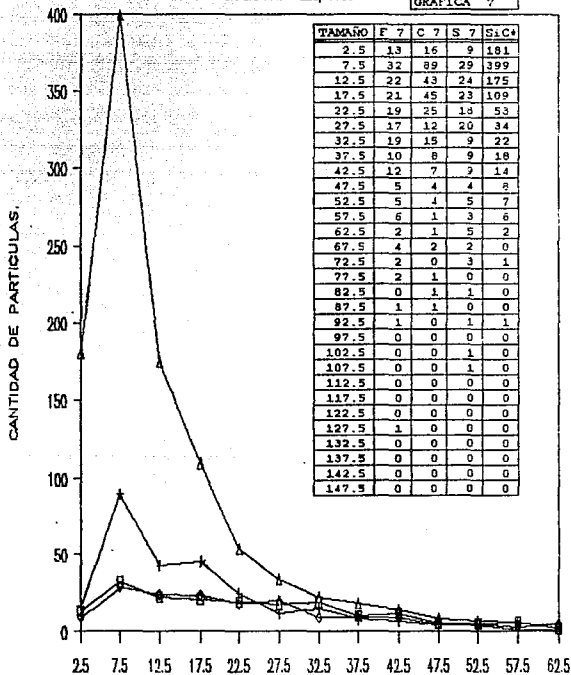
GRAFICA 8



# MUESTRA 7

15% SIC MALLA 280, 1165 RPM.

GRAFICA 7



□ F FONDO

TAMAÑO DE PARTICULA (µm).

◇ S SUPERIOR

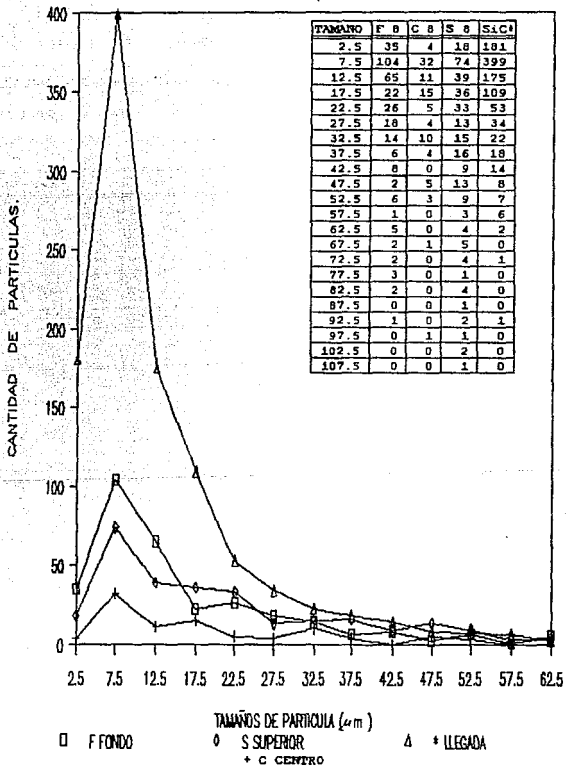
△ \* LLEGADA

+ C CENTRO

# MUESTRA 8

20% SIC MALLA 280, 1165 RPM.

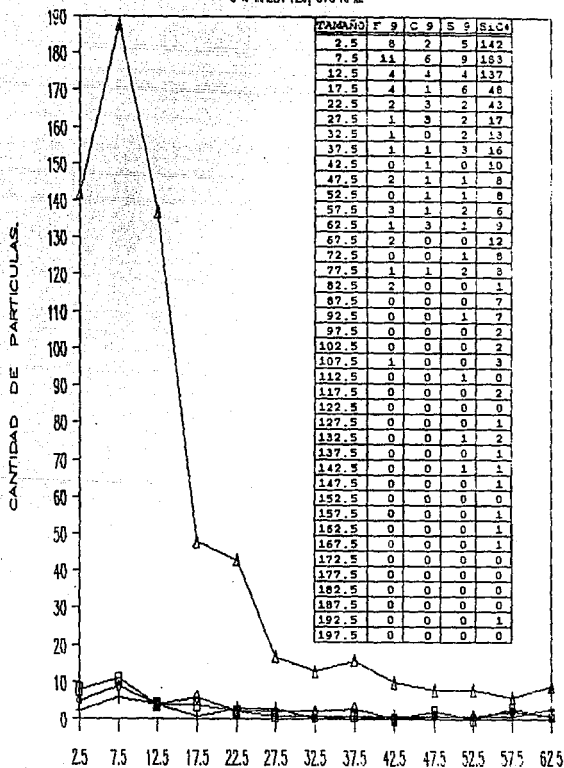
GRAFICA 8



# MUESTRA 9

5 % MALLA 120, 875 RPM

GRAFICA 9



□ F FONDO

○ S SUPERIOR

+ C CENTRO

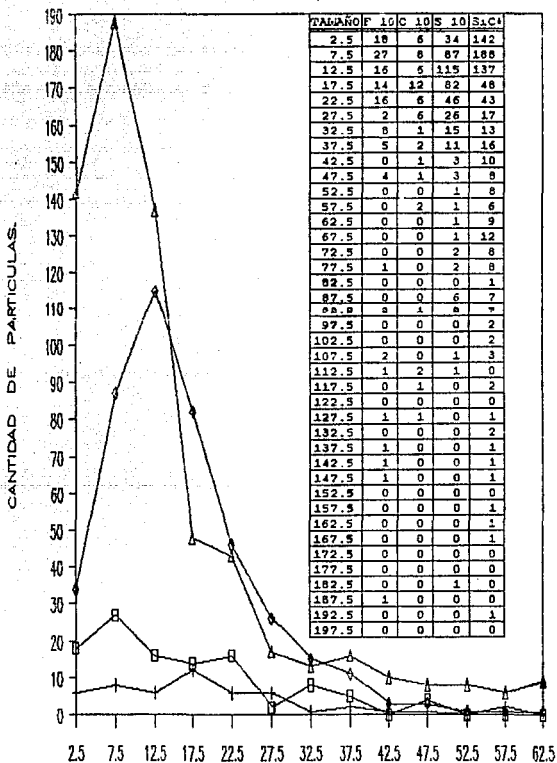
△ L LLEGADA



# MUESTRA 10

10 % SIC MALLA 120, 875 RPM.

GRAFICA 10

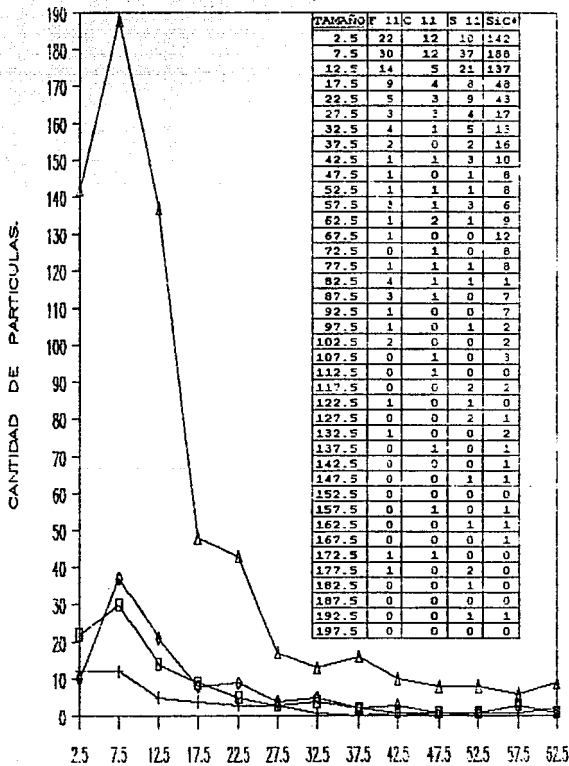


F FONDO  
 S SUPERIOR  
 L LLEGADA  
 C CENTRO

# MUESTRA 11

15 % MALLA 170, 875 RPM.

GRAFICA 11



TAMAJOS	F	C	S	SIC
2.5	22	12	10	142
7.5	30	12	37	188
12.5	14	5	21	137
17.5	9	4	8	48
22.5	5	3	9	43
27.5	3	3	4	17
32.5	4	1	5	13
37.5	2	0	2	16
42.5	1	1	3	10
47.5	1	0	1	8
52.5	1	1	1	8
57.5	1	1	3	6
62.5	1	2	1	9
67.5	1	0	0	12
72.5	0	1	0	8
77.5	1	1	1	8
82.5	4	1	1	1
87.5	3	1	0	7
92.5	1	0	0	7
97.5	1	0	1	2
102.5	2	0	0	2
107.5	0	1	0	3
112.5	0	1	0	0
117.5	0	0	2	2
122.5	1	0	1	0
127.5	0	0	2	1
132.5	1	0	0	2
137.5	0	1	0	1
142.5	0	0	0	1
147.5	0	0	1	1
152.5	0	0	0	0
157.5	0	1	0	1
162.5	0	0	1	1
167.5	0	0	0	1
172.5	1	1	0	0
177.5	1	0	2	0
182.5	0	0	1	0
187.5	0	0	0	0
192.5	0	0	1	1
197.5	0	0	0	0

FONDO
  S SUPERIOR
  LLEGADA

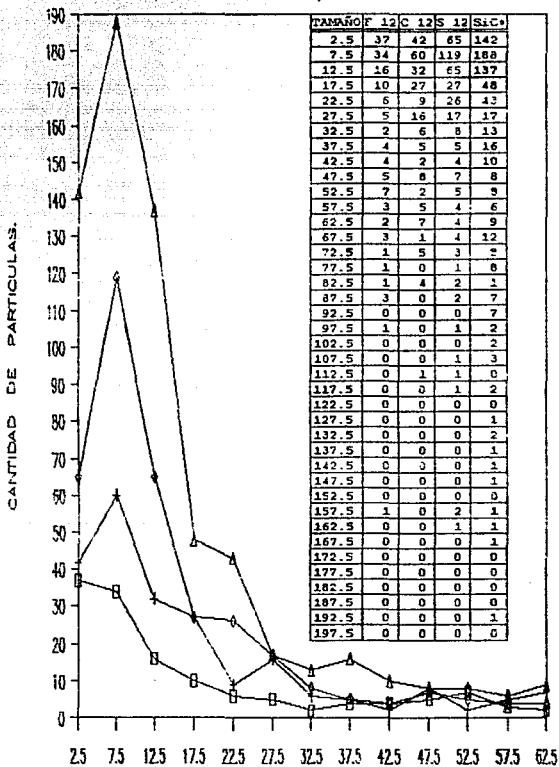
TAMAJOS DE PARTICULA (µm).

- C CENTRO

# MUESTRA 12

20 % 56 MALLA 120, 875 RPM.

GRAFICA 12



□ F FUNDIDO

TAMANOS DE PARTICULA (um).

○ S SUPERIOR

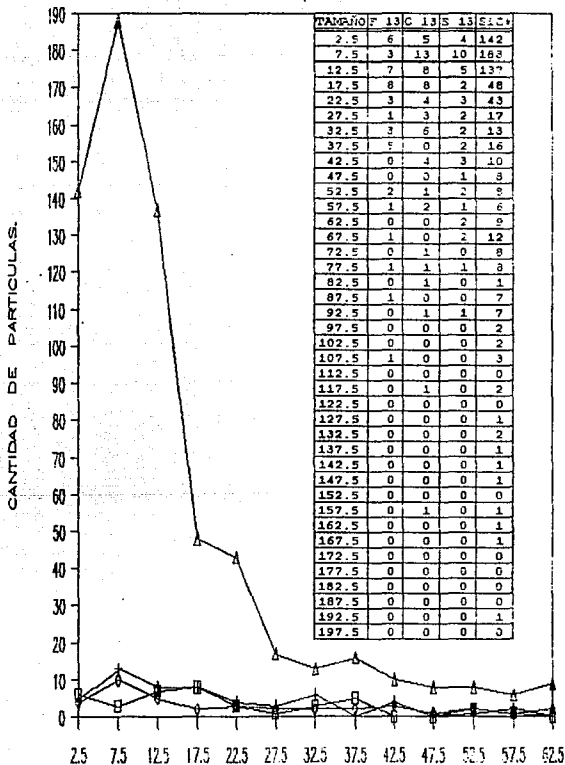
△ \* LLEGADA

\* C CENTRO

# MUESTRA 13

5% MALLA 120, 1165 RPM.

GRAFICA 13



□ F FONDO

TAMANOS DE PARTICULA (micrometers)

◇ S SUPERIOR

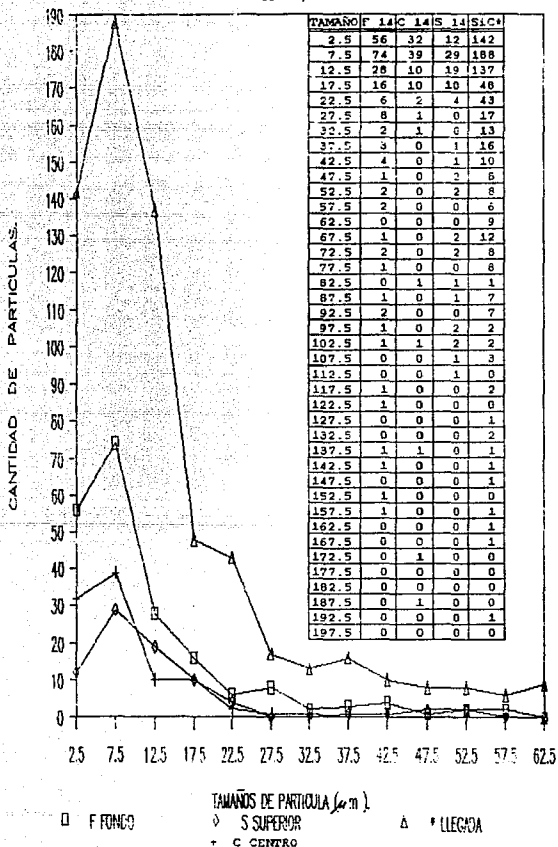
Δ \* LLEGADA

+ ○ CENTRO

# MUESTRA 14

10 % MALLA 120, 1165 RPM.

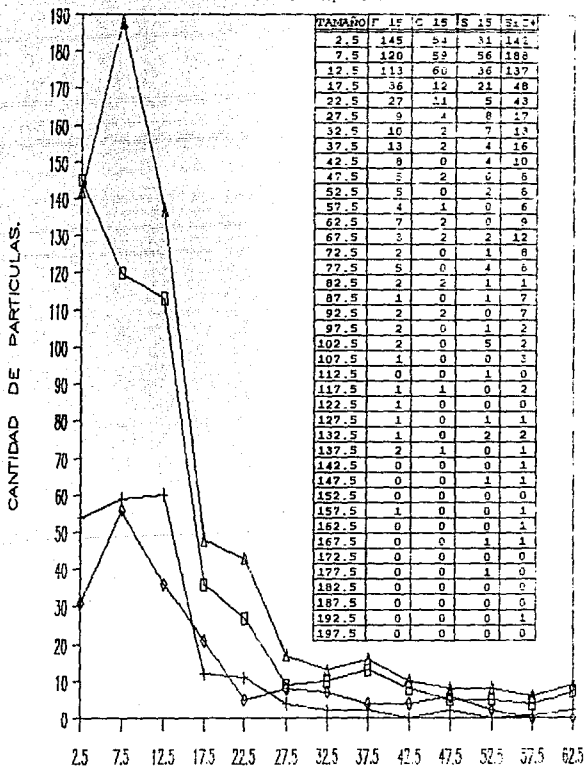
GRAFICA 14



# MUESTRA 15

15 % SIG MALLA 120, 1165 RPM.

GRÁFICA 15



◇ F FONDO

TAMAÑOS DE PARTICULA (µm).

◇ S SUPERIOR

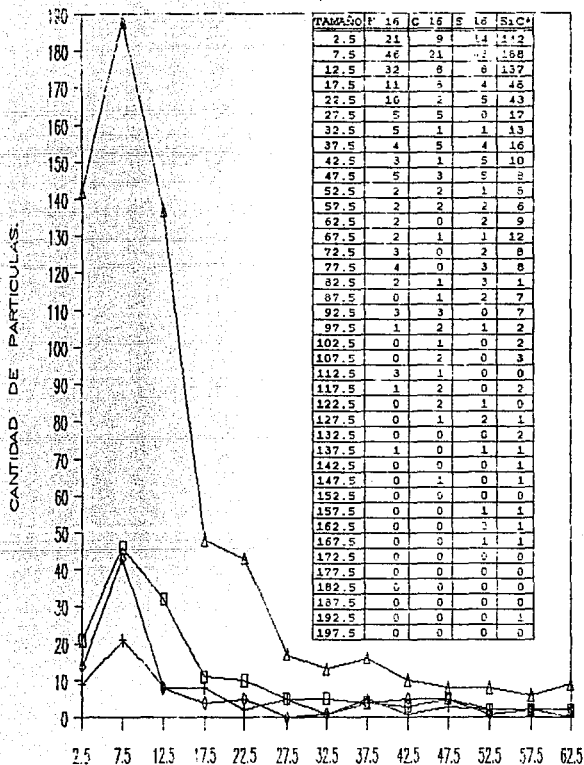
△ \* LLEGADA

+ C CERCEO

# MUESTRA 16

20 % MALLA 120, 1155 RPM.

GRÁFICA 16



TAMAÑOS DE PARTICULA ( $\mu m$ ).

□ F FONDO

◇ S SUPERIOR

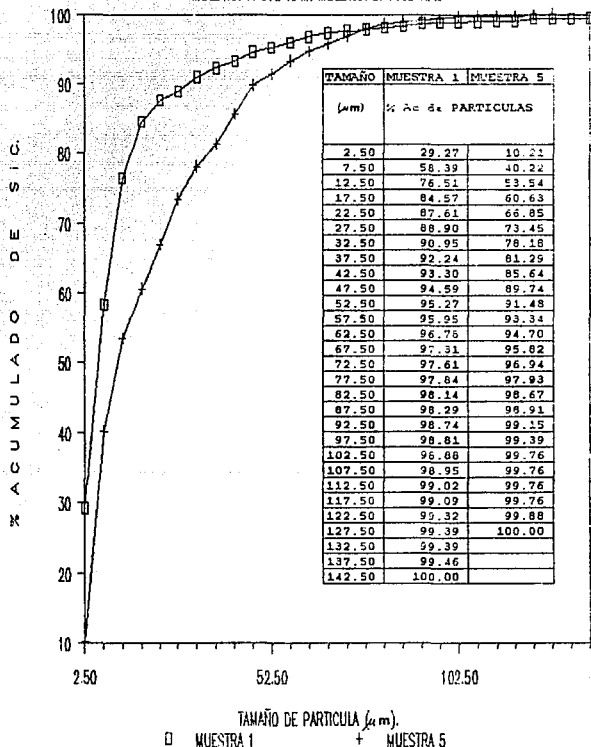
△ \* LLEGADA

+ C CENTRO

# 5% SiC, MALLA 280

MUESTRA 1: 875 RPM. MUESTRA 5: 1165 RPM

GRAFICA 17

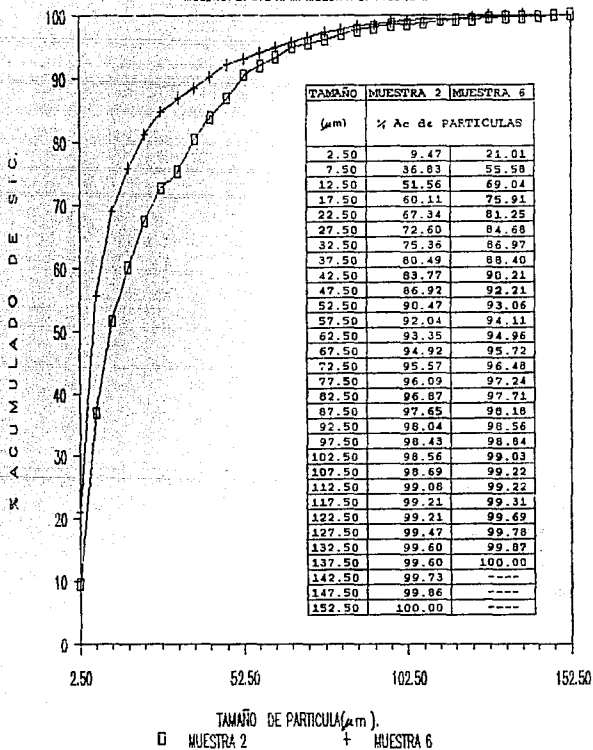




10% SIC, MALLA 280

MUESTRA 2: 875 RPM. MUESTRA 6: 1165 RPM

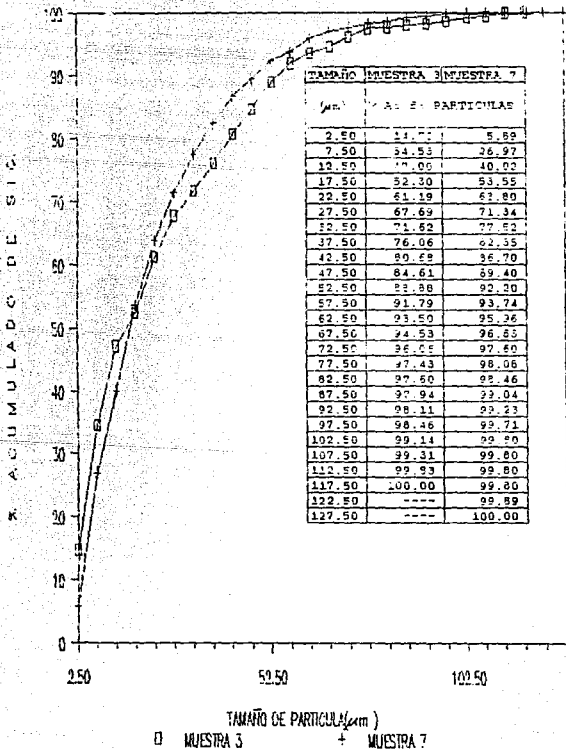
GRAFICA 18



# 15% S/C MALLA 280

MUESTRA 3: 975 GPM MUESTRA 7: 1185

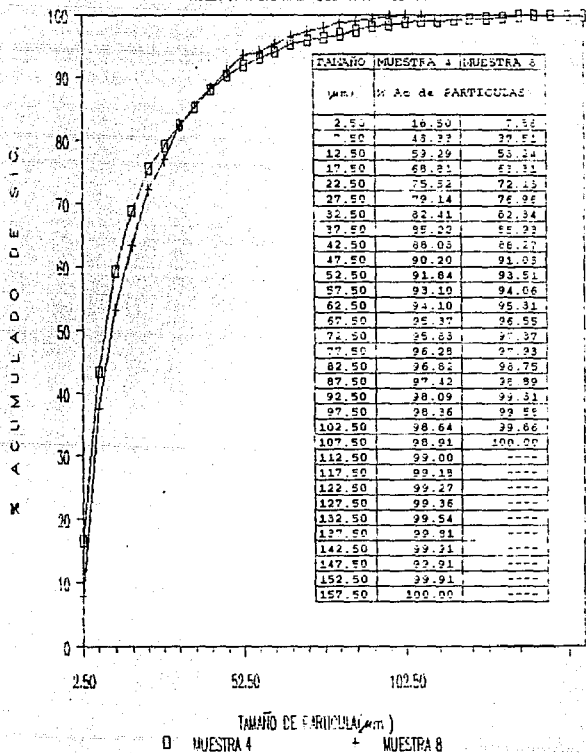
GRAFICO 12



20% C/C, MALLA 280

MUESTRA 4: 975 RPM. MUESTRA 9: 1185 RPM.

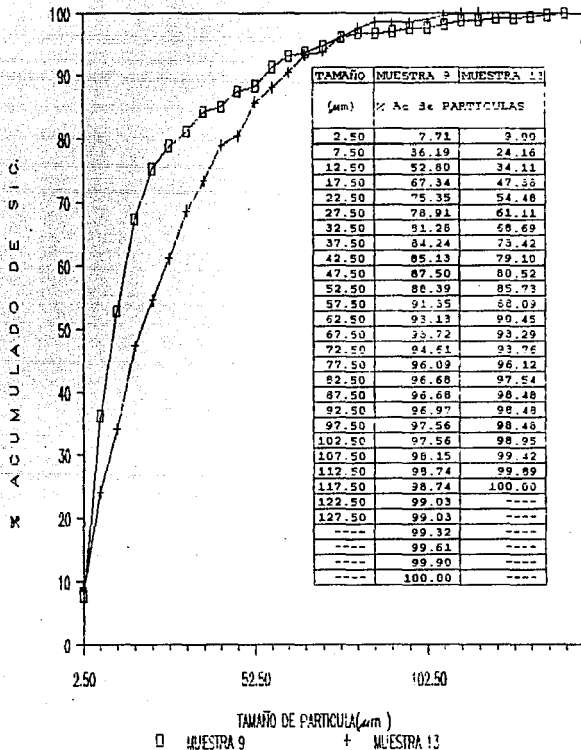
GRÁFICA 10



5% SIC, MALLA 120

MUESTRA 9: 875 RPM. MUESTRA 13: 1185 RPM.

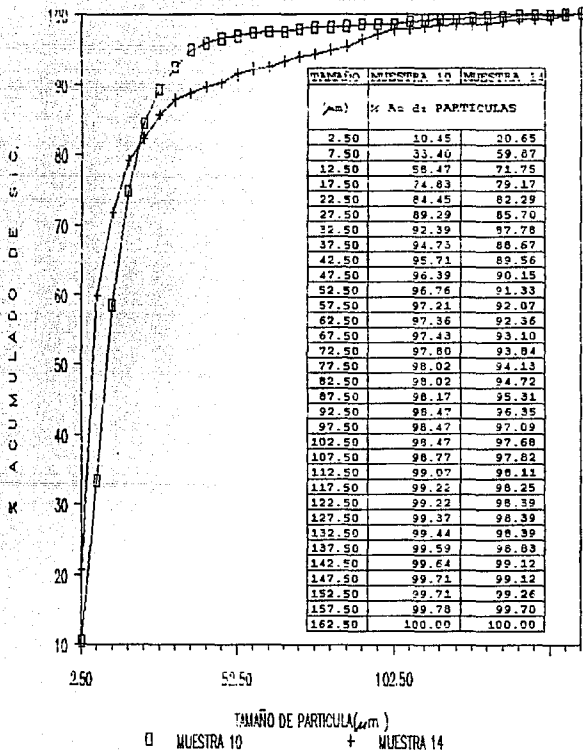
GRAFICA 12



10% SiC, MALLA 120

MUESTRA 10: 875 RPM. MUESTRA 14: 1185 RPM.

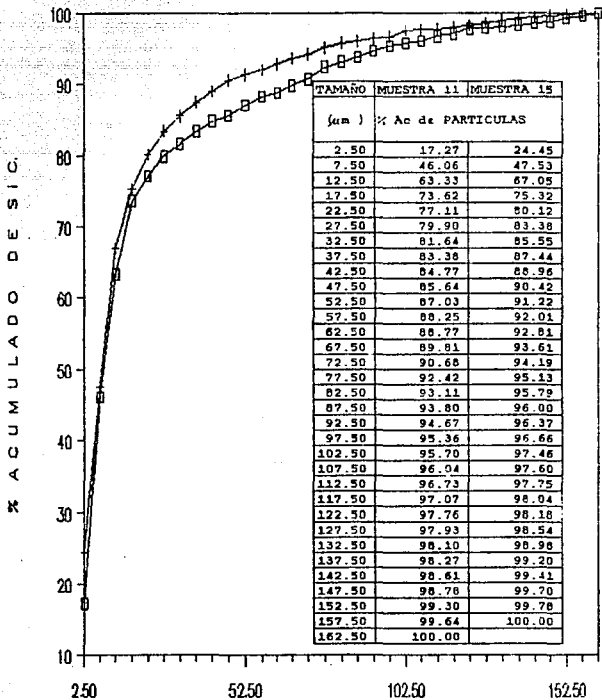
GRAFICA 22



15% SiC, MALLA 120

MUESTRA 11.875 RPM. MUESTRA 15.1165 RPM.

GRAFICA 23

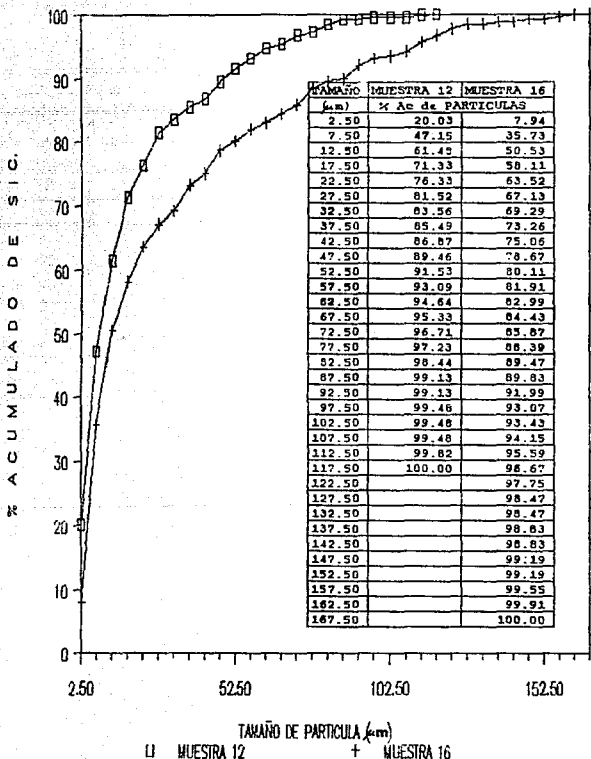


TAMANO (µm)	MUESTRA 11 % Ac de PARTICULAS	MUESTRA 15 % Ac de PARTICULAS
2.50	17.27	24.45
7.50	46.06	47.53
12.50	63.33	67.05
17.50	73.62	75.32
22.50	77.11	80.12
27.50	79.90	83.38
32.50	81.64	85.59
37.50	83.38	87.44
42.50	84.77	88.96
47.50	85.64	90.42
52.50	87.03	91.22
57.50	88.25	92.01
62.50	88.77	92.81
67.50	89.81	93.61
72.50	90.68	94.19
77.50	92.42	95.13
82.50	93.11	95.79
87.50	93.80	96.00
92.50	94.67	96.37
97.50	95.36	96.66
102.50	95.70	97.46
107.50	96.04	97.60
112.50	96.73	97.75
117.50	97.07	98.04
122.50	97.76	98.18
127.50	97.93	98.54
132.50	98.10	98.98
137.50	98.27	99.20
142.50	98.61	99.41
147.50	98.78	99.70
152.50	99.30	99.78
157.50	99.64	100.00
162.50	100.00	

TAMANO DE PARTICULA (µm)  
 □ MUESTRA 11      † MUESTRA 15

20% SiC, MALLA 120  
 MUESTRA 12:875 RPM. MUESTRA 16:1165 RPM.

GRAFICA 24



5% SiC

% PARTICULAS Vs TAMAÑO DE PARTICULA.

GRAFICA 25

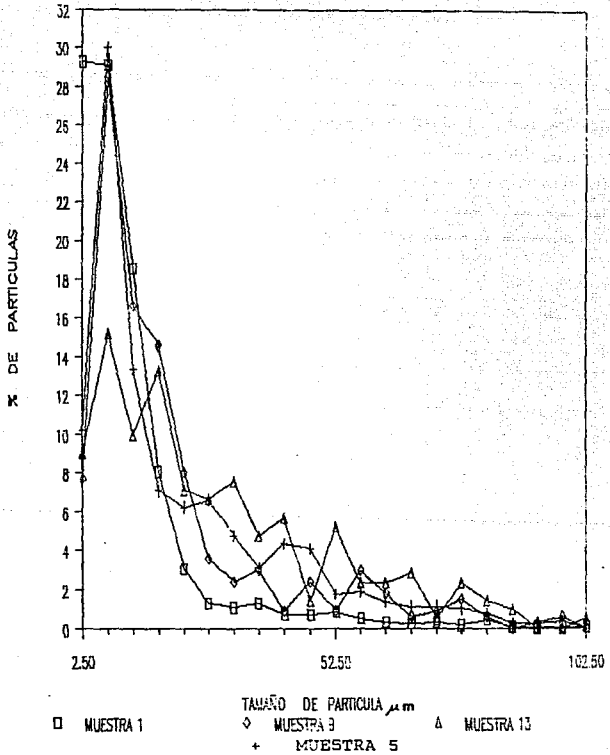




TABLA DE DATOS PARA LA GRAFICA 25.

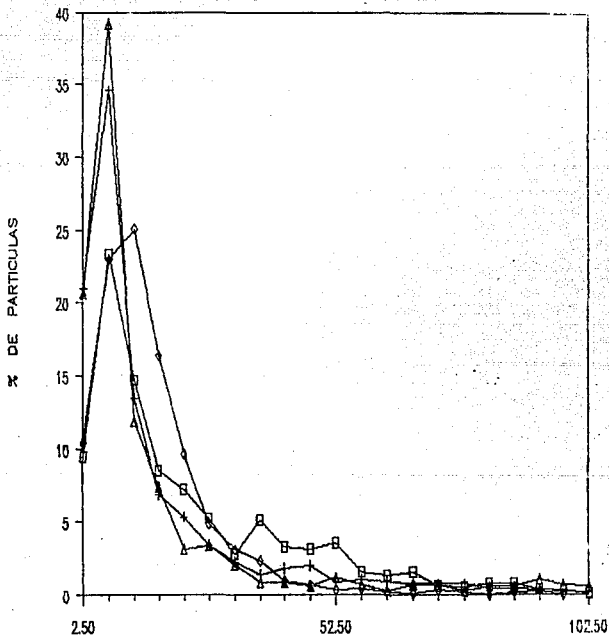
5 & S i C

TAMPAÑO	QUESTRA 1	QUESTRA 5	QUESTRA 9	QUESTRA 13
	M A L L A 2 8 0		M A L L A 1 2 0	
	875 RPM.	1165 RPM.	875 RPM.	1165 RPM.
( $\mu$ m)	% D E P A R T I C U L A S			
2.50	29.27	10.21	7.71	9.00
7.50	22.12	30.01	28.48	15.16
12.50	18.55	13.32	16.61	9.95
17.50	8.06	7.07	14.54	13.27
22.50	5.04	6.22	8.01	7.10
27.50	1.29	6.60	3.56	6.63
32.50	1.06	4.73	2.37	7.56
37.50	1.29	3.11	2.96	4.73
42.50	0.68	2.95	0.89	5.66
47.50	0.66	4.10	2.37	1.42
52.50	0.63	1.74	0.89	5.21
57.50	0.53	1.86	2.96	2.36
62.50	0.30	1.36	1.78	2.56
67.50	0.23	1.12	0.59	2.84
72.50	0.30	1.12	0.89	0.47
77.50	0.15	0.22	1.48	2.36
82.50	0.45	0.74	0.59	1.42
87.50	0.07	0.24	----	0.94
92.50	0.07	0.24	0.29	----
97.50	0.07	0.37	0.59	----
102.50	0.07	----	----	0.47
107.50	0.07	----	0.59	0.47
112.50	0.23	----	0.59	0.47
117.50	0.07	0.12	----	----
122.50	----	0.12	0.29	----
127.50	0.07	----	----	----
132.50	----	0.22	0.29	----
137.50	----	----	0.29	----
142.50	----	----	0.29	----

10 % SiC

% PARTICULAS Vs TAMAÑO DE PARTICULA.

GRAFICA 26



□ MUESTRA 2

TAMAÑO DE PARTICULA μm  
◇ MUESTRA 10  
+ MUESTRA 6

△ MUESTRA 14

TABLA DE DATOS PARA LA GRAFICA 26.

10 %

S i C

TAMAÑO	MUESTRA 2	MUESTRA 6	MUESTRA 10	MUESTRA 14
	MALLA 280		MALLA 120	
	875 RPM.	1165 RPM.	875 RPM.	1165 RPM.
( $\mu$ m)	% DE PARTICULAS			
2.50	9.47	21.01	10.45	20.65
7.50	27.36	34.57	22.95	39.22
12.50	14.73	13.46	25.07	11.88
17.50	8.55	5.87	16.36	7.42
22.50	7.23	5.34	9.62	3.12
27.50	5.26	3.43	4.84	3.41
32.50	2.76	2.29	3.10	2.06
37.50	5.13	1.43	2.34	0.89
42.50	3.26	1.61	0.98	0.89
47.50	3.15	2.00	0.68	0.59
52.50	3.55	0.85	0.37	1.18
57.50	1.57	1.05	0.45	0.74
62.50	1.31	0.85	0.15	0.29
67.50	1.57	0.76	0.07	0.74
72.50	0.65	0.76	0.37	0.74
77.50	0.52	0.76	0.22	0.29
82.50	0.78	0.47	----	0.59
87.50	0.78	0.47	0.15	0.59
92.50	0.39	0.38	0.30	1.04
97.50	0.39	0.28	----	0.74
102.50	0.13	0.19	----	0.59
107.50	0.13	0.19	0.30	0.14
112.50	0.39	----	0.30	0.29
117.50	0.13	0.09	0.15	0.14
122.50	----	0.38	----	0.14
127.50	0.26	0.09	0.15	----
132.50	0.13	0.09	0.07	----
137.50	----	----	0.15	0.44
142.50	0.13	----	0.15	0.29
147.50	0.13	----	0.07	----
152.50	----	----	----	0.14

15% SiC

% PARTICULAS Vs TAMAÑO DE PARTICULA.

GRAFICA 27

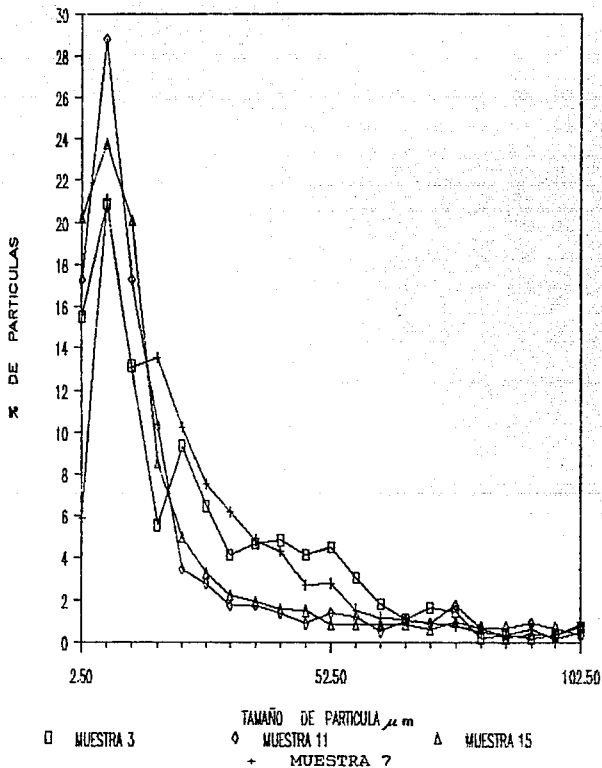


TABLA DE DATOS PARA LA GRÁFICA 27.

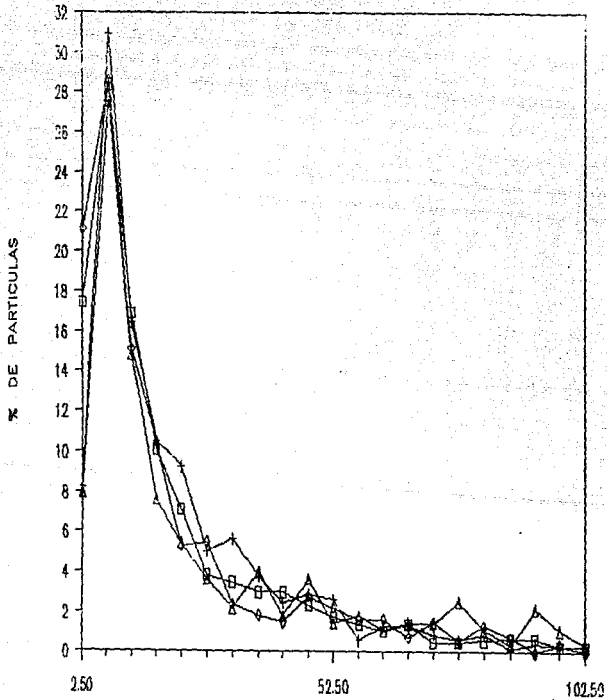
15 % S i C

TAMAÑO	MUESTRA 3		MUESTRA 7		MUESTRA 11		MUESTRA 15	
	M A L L A		2 8 0		M A L L A		1 2 0	
	875 RPM.	1165 RPM.			875 RPM.	1165 RPM.		
( $\mu$ m)	% D E P A R T I C U L A S							
2.50	15.49	5.89			17.27	20.20		
7.50	20.90	21.08			28.79	23.78		
12.50	13.15	13.05			17.27	20.11		
17.50	5.58	13.53			10.29	8.52		
22.50	9.36	10.25			3.49	5.01		
27.50	6.48	7.54			2.79	3.29		
32.50	4.14	6.18			1.74	2.24		
37.50	4.68	4.83			1.74	1.94		
42.50	4.86	4.35			1.39	1.57		
47.50	4.14	2.70			0.87	1.49		
52.50	4.50	2.80			1.39	0.82		
57.50	3.06	1.54			1.22	0.82		
62.50	1.80	1.16			0.52	0.82		
67.50	1.08	1.06			1.04	0.82		
72.50	1.62	0.87			0.87	0.53		
77.50	1.44	0.77			1.74	0.27		
82.50	0.18	0.48			0.69	0.67		
87.50	0.36	0.38			0.69	0.22		
92.50	0.18	0.58			0.87	0.37		
97.50	0.36	0.19			0.69	0.29		
102.50	0.72	0.48			0.34	0.92		
107.50	0.18	0.09			0.34	0.14		
112.50	0.54	----			0.69	0.14		
117.50	0.18	----			0.34	0.22		
122.50	----	----			0.69	0.14		
127.50	----	0.09			0.17	0.37		
132.50	----	0.09			0.17	0.44		
137.50	----	----			0.17	0.22		
142.50	----	----			0.17	0.22		
147.50	----	----			0.34	0.29		
152.50	----	----			0.17	0.07		
157.50	----	----			0.52	0.22		
162.50	----	----			0.34	----		

20 % SiO<sub>2</sub>

% PARTICULAS VS TAMAÑO DE PARTICULA

GRAFICA 28



□ MUESTRA 4

TAMAÑO DE PARTICULA μm  
◇ MUESTRA 12

△ MUESTRA 16

+ MUESTRA 8

TABLA DE DATOS PARA LA GRAFICA 79.

20 % S I C

TAMAÑO ( $\mu$ m)	MUESTRA 4	MUESTRA 8	MUESTRA 12	MUESTRA 16
	M A L L A 2 8 0		M A L L A 1 2 0	
	875 RPM.	1165 RPM.	875 RPM.	1165 RPM.
% D E P A R T I C U L A S				
2.50	17.44	8.20	21.12	7.94
7.50	28.37	30.93	28.59	27.79
12.50	16.87	16.40	15.11	14.80
17.50	10.06	10.50	10.38	7.58
22.50	7.09	9.20	5.28	5.41
27.50	3.83	5.03	5.46	5.61
32.50	3.45	5.61	2.36	2.16
37.50	2.97	3.74	1.82	3.97
42.50	2.97	2.44	1.45	1.60
47.50	2.30	2.87	2.73	2.61
52.50	1.72	2.58	2.18	1.44
57.50	1.34	0.57	1.63	1.80
62.50	1.05	1.29	1.63	1.08
67.50	1.34	1.29	0.72	1.44
72.50	0.47	0.66	1.45	1.44
77.50	0.47	0.57	0.54	2.52
82.50	0.57	0.86	1.27	1.73
87.50	0.67	0.14	0.72	0.17
92.50	0.67	0.43	----	2.16
97.50	0.28	0.28	0.36	1.08
102.50	0.28	0.28	----	0.36
107.50	0.28	0.14	----	0.72
112.50	0.09	----	0.36	1.44
117.50	0.19	----	0.18	1.08
122.50	0.09	----	----	1.08
127.50	0.09	----	----	0.72
132.50	0.19	----	----	----
137.50	0.28	----	----	0.36
142.50	0.09	----	----	----
147.50	----	----	----	0.36
152.50	----	----	----	----
157.50	0.09	----	----	0.36