

c) Distancia libre media.

$$\lambda = \frac{1 - (A_A)_\alpha}{N_l} \quad (5-1)$$

La distancia libre promedio que existe entre las partículas del eutéctico en la microestructura (λ), se midió mediante un programa elaborado especialmente para tal fin. Las mediciones se realizaron en las muestras longitudinales y transversales de cada sección (a 1, 2, 4 y 8 cm de la base) en ambos lingotes.

La técnica empleada consiste en un análisis metalográfico cuantitativo, en el cual se seleccionan 16 campos de área conocida uniformemente distribuidos en cada muestra y se determina la fracción de área $(A_A)_\alpha$ de la fase eutéctica para cada campo. Así mismo, se trazan líneas al azar y se cuantifica el número de partículas que intersectan por línea, con la finalidad de obtener la densidad lineal (N_L) que existe en la fase eutéctica.

Para cada campo se trazan 5 líneas al azar, con lo cual se obtiene un total de 80 mediciones por muestra. El análisis se realizó a 500 aumentos, como se puede ver en las Figs. 5.4, 5.5.

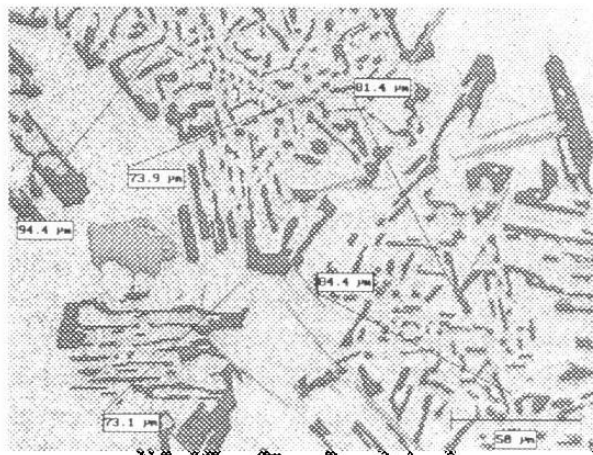


Fig. 5.4 Intersección lineal, al azar, de las partículas del eutéctico para determinar N_L . 500X.

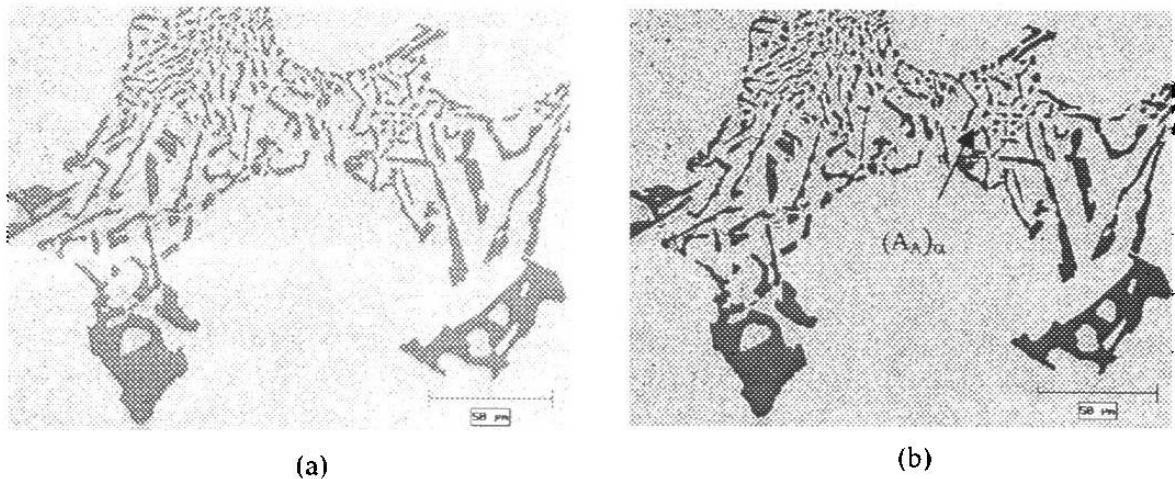


Fig. 5.5 (a) Fase eutéctica vista a 500X. (b) Misma fase, sombreada por el analizador de imágenes para determinar la fracción de área de la fase eutéctica. 500X.

d) Tamaño de grano.

El tamaño de grano se evaluó en un estereoscópio Olympus a 20 aumentos. Para la determinación del tamaño de grano se pulieron las muestras con alúmina de $0.3 \mu\text{m}$ y se atacaron químicamente por inmersión durante 5 minutos a temperatura ambiente con el reactivo Keller, el cual consiste en:

- 0.5 partes de ácido fluorhídrico concentrado
- 2.5 partes de ácido nítrico concentrado
- 1.5 partes de ácido clorhídrico concentrado
- 95.5 partes de agua destilada

e) Dureza Brinell.

Para la determinación de la dureza se prepararon muestras con superficies planas y caras paralelas, aplicando un desbaste ligero con hoja de carburo de silicio de 400. Se realizaron 5 indentaciones con indentador Brinell obteniéndose los resultados con sus respectivas desviaciones estándar. La dureza se obtiene de dividir la carga entre el área de la indentación:

$$BHN = \frac{P}{\left(\frac{\pi D}{2}\right)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad 5.2$$

5.2.2 ENSAYO DE COMPRESION

Se maquinaron probetas cilíndricas para compresión, obtenidas de las mismas secciones a 1, 2, 4 Y 8 cm de la base del lingote. Las probetas se tomaron también en forma transversal y longitudinal a la dirección de solidificación, con las dimensiones que se muestran en la Fig. 5.6.

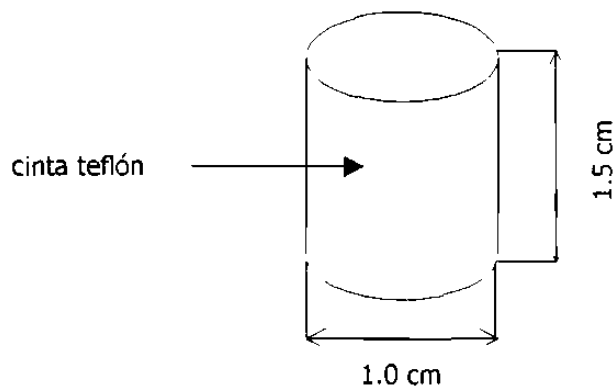


Figura 5.6 Probeta cilíndrica para compresión.

Las pruebas se realizaron en una máquina universal de ensayos mecánicos Instron servohidráulica a cuatro velocidades diferentes. Las caras circulares de las muestras se cubrieron con cinta teflón para minimizar la fricción entre la probeta y las caras planas de las mordazas. Ver Fig. 5.6.

5.3 COMPOSICION QUIMICA DEL MATERIAL

La composición química⁽¹⁰⁾ de cada lingote se obtuvo mediante un espectrómetro SPECTRO ANALYTICAL, INSTRUMENTS, la cual se muestra en la Tabla 5.1.

Lingote	Altura (cm)	Si	Cu	Fe	Mn	Mg	Zn	Ti	Sr
A	1	7.75	3.55	0.627	0.352	0.310	0.701	0.118	0.0147
	2	7.70	3.50	0.673	0.390	0.304	0.697	0.119	0.0146
	4	7.56	3.14	0.767	0.461	0.278	0.674	0.137	0.0145
	8	7.73	3.27	0.668	0.400	0.279	0.674	0.136	0.0138
B	1	8.18	3.29	0.689	0.372	0.275	0.675	0.307	0.0074
	2	7.63	3.38	0.820	0.457	0.286	0.675	0.338	0.0073
	4	7.63	3.41	0.758	0.419	0.291	0.674	0.397	0.0078
	8	8.27	3.31	0.678	0.338	0.286	0.676	0.180	0.0073

Tabla 5.1 Composición química en las zonas de interés de los lingotes A y B.

5.4 CLASIFICACION DE PROBETAS

La clasificación de las probetas según el lingote, la zona de interés y la velocidad de las pruebas de compresión, se ve en la Tabla 5.2.

Sección	Velocidad mm/min	Probeta	Dimensiones (mm)	
			Altura	Diámetro
LINGOTE A				
1	0.5	AL1a	15 02	10.01
2	0.5	AL2a	15 03	10.01
4	0.5	AT4a	15 03	10.01
8	0.5	AT8a	15 03	10.01
1	5	AT1b	15 04	10.01
2	5	AT2b	15 04	10.01
4	5	AL4b	15 01	10.01
8	5	AL8b	15 03	10.02
1	50	AT1c	15 00	10.00
2	50	AT2c	15 00	10.01
4	50	AL4c	15 02	10.01
8	50	AL8c	15 03	10.01
1	500	AL1d	15 02	10.00
2	500	AL2d	15 04	10.03
4	500	AT4d	15 03	10.02
8	500	AT8d	15 03	10.03
LINGOTE B				
1	0.5	BL1a	15 02	10.00
2	0.5	BT2a	15 01	10.00
4	0.5	BL4A	15 00	10.03
8	0.5	BT8a	15 00	10.03
1	5	BT1b	15 04	10.00
2	5	BL2b	15 05	10.02
4	5	BT4b	15 05	10.02
8	5	BL8b	14 97	10.02
1	50	BL1c	15 01	10.00
2	50	BL2c	15 01	10.02
4	50	BT4c	15 03	10.01
8	50	BT8c	15 06	10.01
1	500	BT1d	15 06	10.03
2	500	BT2d	15 04	09 99
4	500	BL4d	15 02	10.00
8	500	BL8d	15 05	10.02

*L: longitud a la dirección de solidificación

*T: transversa a la dirección de solidificación

Tabla 5.2 Clasificación y dimensiones de las probetas ensayadas en compresión.

5.5.1 TECNICAS EMPLEADAS

Las pruebas de compresión se realizaron a temperatura ambiente, alrededor de 20°C, y velocidad de cabezal constante en una Máquina Universal de Ensayos Mecánicos INSTRON Modelo 8502, servohidráulica de cabezal móvil, empleando mordazas planas y una carga máxima de 8000 Kg.

Como se muestra en la Tabla 5.2, las pruebas se hicieron a 0.5, 5.0, 50.0 y 500.0 mm/min (a, b, c y d respectivamente) para cada sección en ambos lingotes.

Una vez finalizadas las pruebas de compresión, se procedió a efectuar un análisis de las curvas obtenidas en un programa diseñado especialmente para ensayos de compresión y tensión.

El estudio consistió principalmente en evaluar el punto de fluencia y factor de endurecimiento en base en el análisis de las curvas esfuerzo vs. deformación de las pruebas de compresión realizadas.

Primeramente se obtiene la curva carga vs. desplazamiento con la cual se ajusta la curva obteniendo la pendiente a cero, para posteriormente evaluar el punto de fluencia y el factor de endurecimiento con las curvas ajustadas esfuerzo vs. deformación y log esfuerzo vs. log deformación, respectivamente. Cabe mencionar que el programa empleado para este análisis hace la corrección por fricción⁽¹⁸⁾ inherente a éste.

CAPITULO 6

ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

6.1 MICROESTRUCTURAS

En la figura 6.1 se aprecia la refinación de la microestructura en función de la distancia desde la base templada del lingote A. Se observa un incremento en el espaciado dendrítico secundario; así como en la separación y refinación de las partículas de silicio (fase laminar). También existen partículas de compuestos intermetálicos de hierro que en la base del lingote muestran una forma poligonal y a medida que se alejan de ésta, tienden a formar partículas con una morfología de escritura china (Fig. 6.1).

En la figura 6.2, se observa el mismo comportamiento de refinación estructural, sólo que aquí, las partículas de los compuestos intermetálicos, en forma de escritura china, aparecen desde la base del lingote B (fig. 6.2a); lo cual se puede atribuir a que se solidificó a una velocidad menor que el lingote A. Las figuras 6.3 y 6.4 muestran las microestructuras a mayores aumentos. En estas figuras se puede distinguir un ligero aumento en el espaciado entre las partículas de Si del eutéctico.

En la figura 6.5 se muestra el incremento en el espaciado dendrítico secundario al incrementarse la distancia; además, se nota claramente que las muestras tomadas longitudinal y transversalmente a la dirección de solidificación, tienen valores de este parámetro muy similares. En el Anexo I, se tabulan los resultados microestructurales obtenidos.

En la figura 6.6 se observa un comportamiento similar en el espaciado entre las partículas de Si del eutéctico, mencionado anteriormente, es decir, la distancia libre media (λ) incrementa con la distancia y sus valores son similares para las muestras longitudinales y transversales.

Tanto el espaciamiento dendrítico secundario como (λ), tienen una marcada influencia en la dureza del material, como se puede apreciar en la figura 6.7. A mayores valores de (λ) y espaciamiento dendrítico secundario, existe un descenso en los valores de dureza, por lo que es de esperarse que suceda lo mismo con otras propiedades mecánicas.

6.2 PRUEBAS DE COMPRESION

En el Anexo II, se presentan las curvas esfuerzo contra deformación obtenidas en los diferentes ensayos de compresión realizados. El cálculo se realizó a partir de los valores de carga contra desplazamiento, suponiendo un coeficiente de fricción (μ) de 0.1 para el teflón empleado como lubricante. A partir de estas curvas, se obtuvieron los valores de esfuerzo de fluencia, esfuerzo a 0.1 y 0.2 de deformación, que se tabulan en el Anexo III.

En las figuras 6.8 y 6.9 se muestra la variación del esfuerzo al 0.1 de deformación ($\sigma_{0.1}$) para los lingotes A y B como una función de la distancia. En la gráfica se observa una marcada disminución de $\sigma_{0.1}$ al incrementarse la distancia; además, se aprecia claramente el incremento de éste al disminuir la velocidad de deformación, lo que es un indicio del desarrollo de inestabilidades en el flujo plástico^(21,22).

6.3 VELOCIDAD DE SOLIDIFICACION

En la figura 6.10 se grafica la dependencia de la velocidad de solidificación al momento en el que se detecta el inicio de la solidificación del aluminio primario. Estos valores se determinaron mediante la insercción de termopares tal y como se describe en una trabajo previo⁽¹⁰⁾. Esta relación explica que las microestructuras de las figuras 6.1 a 6.4 se refinan a medida que la posición el corte se aproxime a la base en la cual se alcanza la mayor velocidad de solidificación.

6.4 RELACION ENTRE PROPIEDADES MECANICAS Y MICROESTRUCTURA.

Se estudió la dependencia de los diversos niveles de esfuerzos, al límite elástico y a 0.1 y 0.2 de deformación equivalente en función de la velocidad de deformación, del espaciamiento dendrítico secundario y de λ .

En las figuras 6.11 y 6.12 se grafican los resultados del esfuerzo al límite elástico, en tanto que en las figuras 6.13 a 6.16 se representan los resultados para los niveles de esfuerzo a 0.1 y 0.2 de deformación. En ellas se aprecia que el esfuerzo se incrementa con la disminución del espaciamiento dendrítico secundario.

Como se aprecia en la figura 6.11, el esfuerzo de fluencia para los lingotes A y B es muy similar al inicio de la deformación, contrariamente a lo que se encuentra al graficar los valores correspondientes a mayores deformaciones, Fig. 6.13 y 6.15, en las que se observa que los valores del esfuerzo al límite de fluencia, independientemente de la velocidad de deformación que se trate, caen sobre una misma curva cuando se grafica en función del espaciamiento dendrítico secundario, en tanto que los valores a 0.1 y 0.2 forman dos curvas, Figs 6.13 y 6.15, una para cada material. El caso contrario se aprecia cuando se grafican los esfuerzos en función de λ , Figs. 6.16 a 6.18.

En las Figs. 6.17 a 6.19 se grafican estos mismos valores de esfuerzo, sólo que en función del espaciamiento entre las partículas de Si λ .

Esto implica que el parámetro microestructural crítico para controlar la fluencia es el espaciamiento dendrítico secundario, en tanto que la forma en que la deformación procede, depende del espaciamiento entre las partículas de silicio.

Durante la compresión, varias de las muestras se fracturaron siguiendo un ángulo de 45° aproximadamente respecto al eje de carga, siguiendo el campo de líneas de deslizamiento⁽¹⁸⁾. La inspección metalográfica de muestras deformadas que no llegaron a fallar, muestra la presencia de pequeñas grietas generadas en las inclusiones de intermetálicos; como se aprecia en la figura 6.20a. A menores aumentos, se observó que estas microgrietas pueden coalescer, tal y como se muestra en la figura 6.20b.

MICROGRAFIAS DEL LINGOTE A

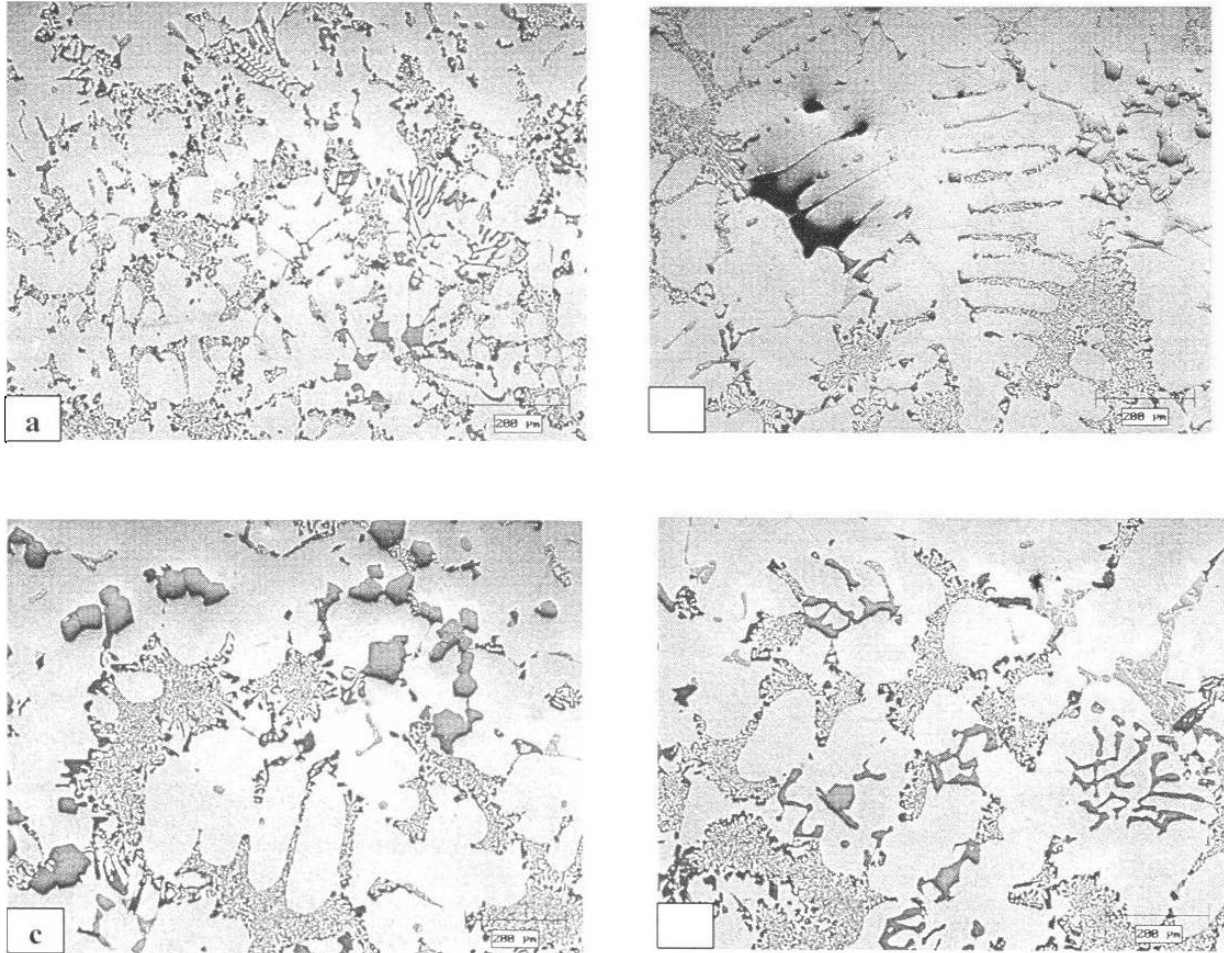


Fig. 6.1 Micrografías tomadas a 1, 2, 4 y 8 cm desde la base templada del lingote; a) AL1, b) AL2, c) AL4, d)AL8. 100X.

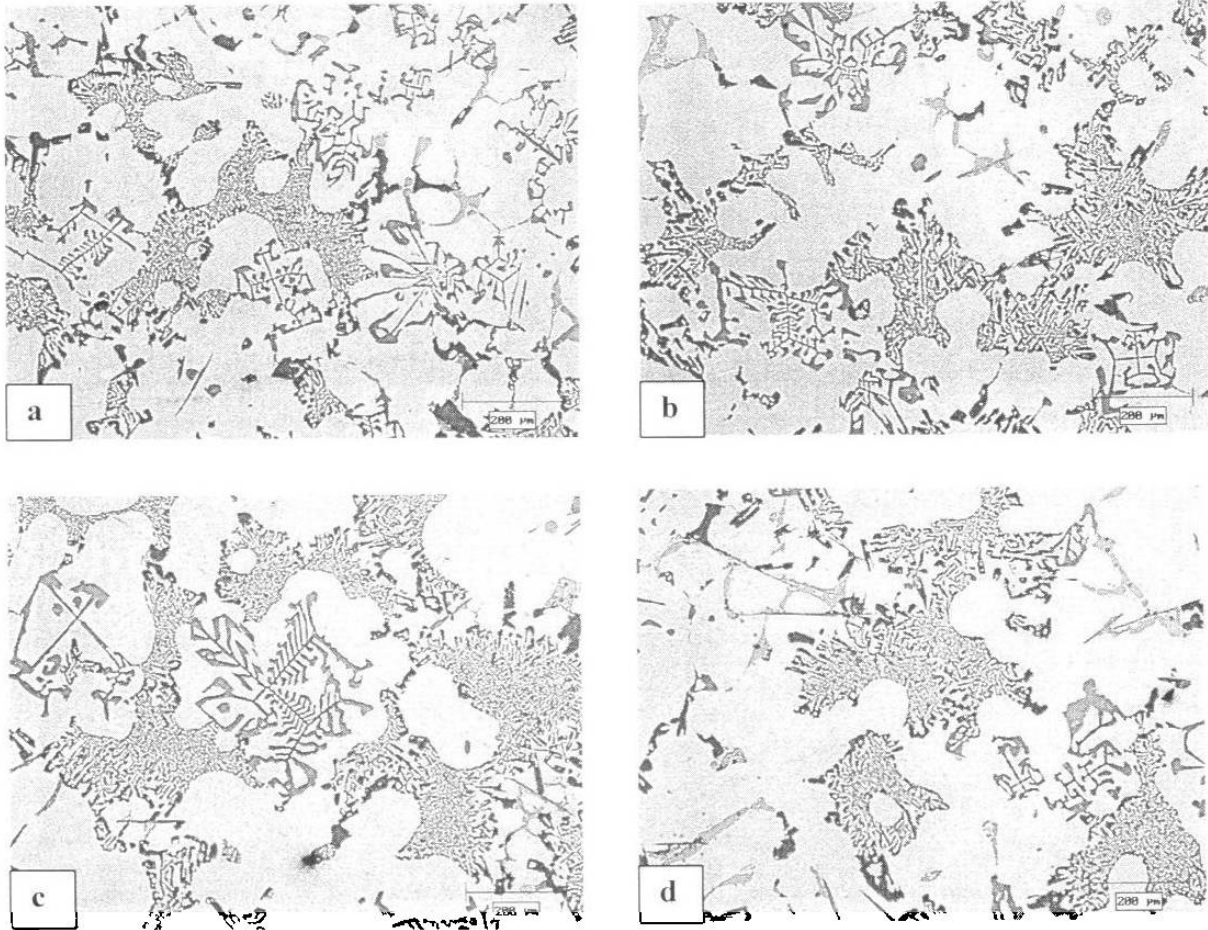
MICROGRAFIAS DEL LINGOTE B

Fig. 6.2 Micrografías tomadas a 1, 2, 4 y 8 cm desde la base templada del lingote; a) BL1, b) BL2, c) BL4, d) BL8. 100X.

MICROGRAFIAS DEL LINGOTE A

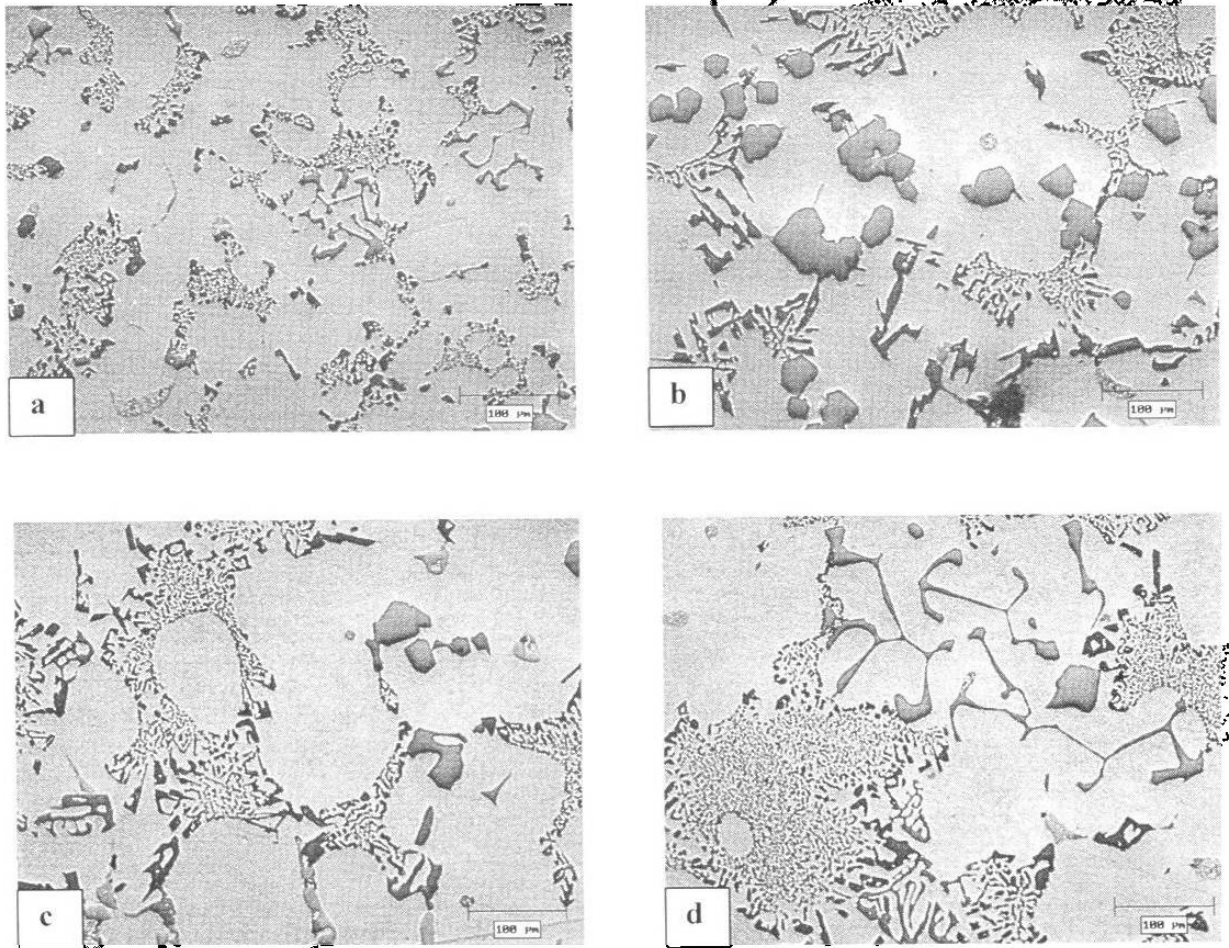


Fig. 6.3 Micrografías tomadas a 1, 2, 4 y 8 cm desde la base templada del lingote; a) AT1, b) AT2, c) AT4, d) AT8. 200X.

MICROGRAFIAS DEL LINGOTE B

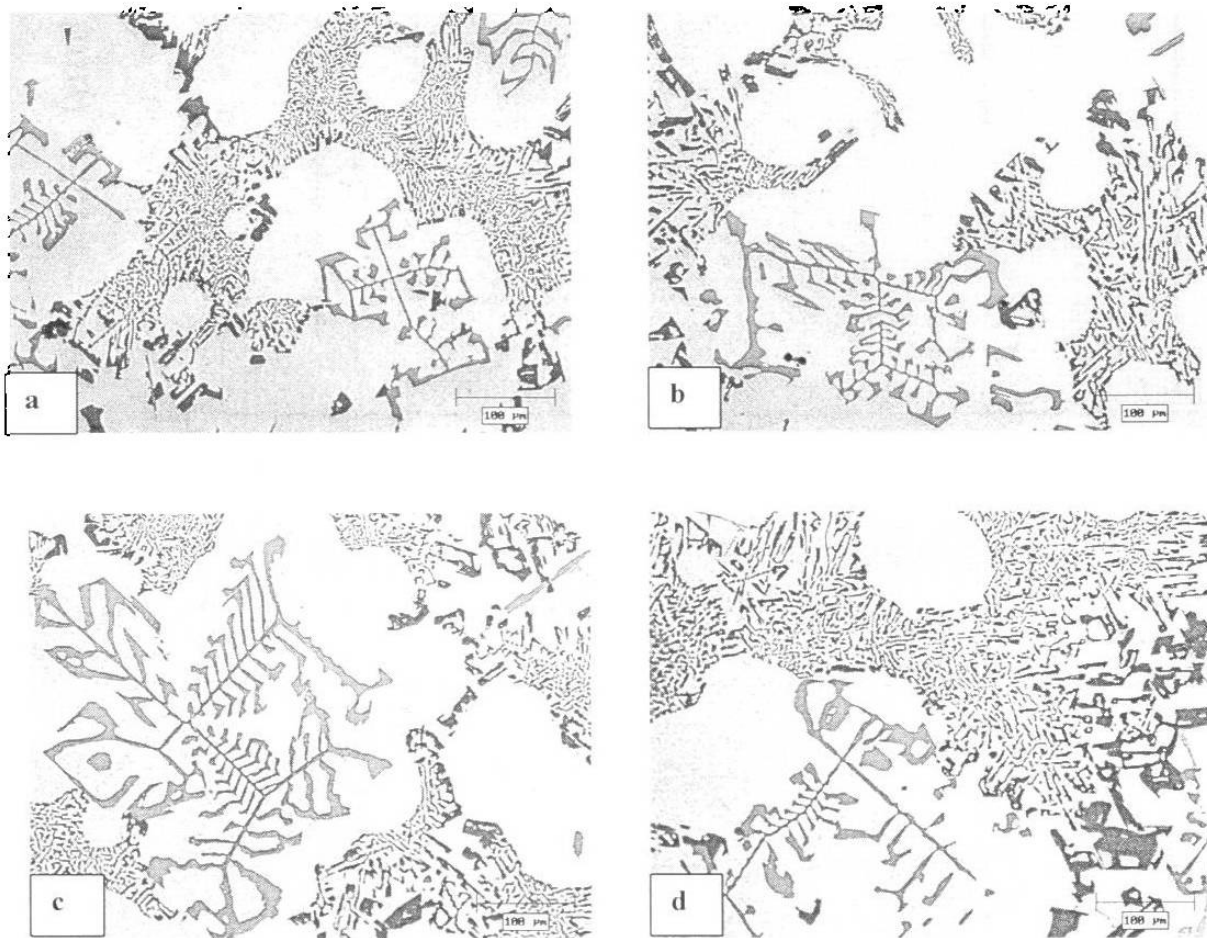


Fig. 6.4 Micrografías tomadas a 1, 2, 4 y 8 cm desde la base templada del lingote; a) BT1, b) BT2, c) BT4, d) BT8. 200X.

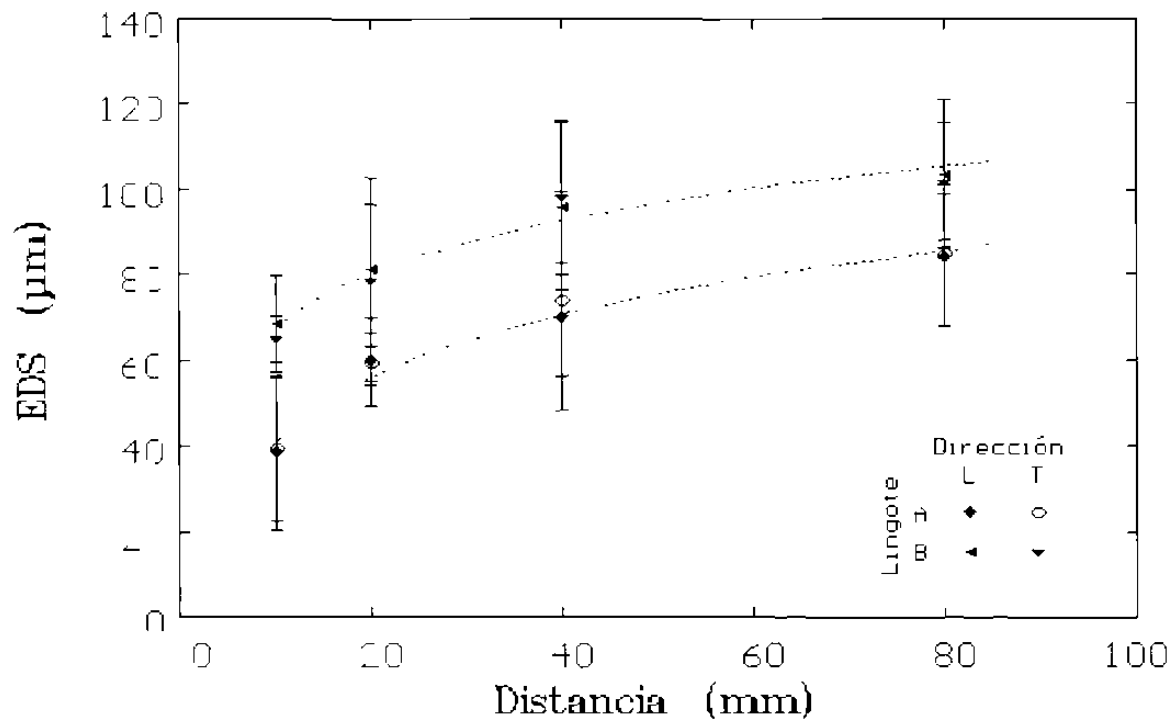


Fig. 6.5 Espaciamiento dendrítico secundario medido en muestras metalográficas.

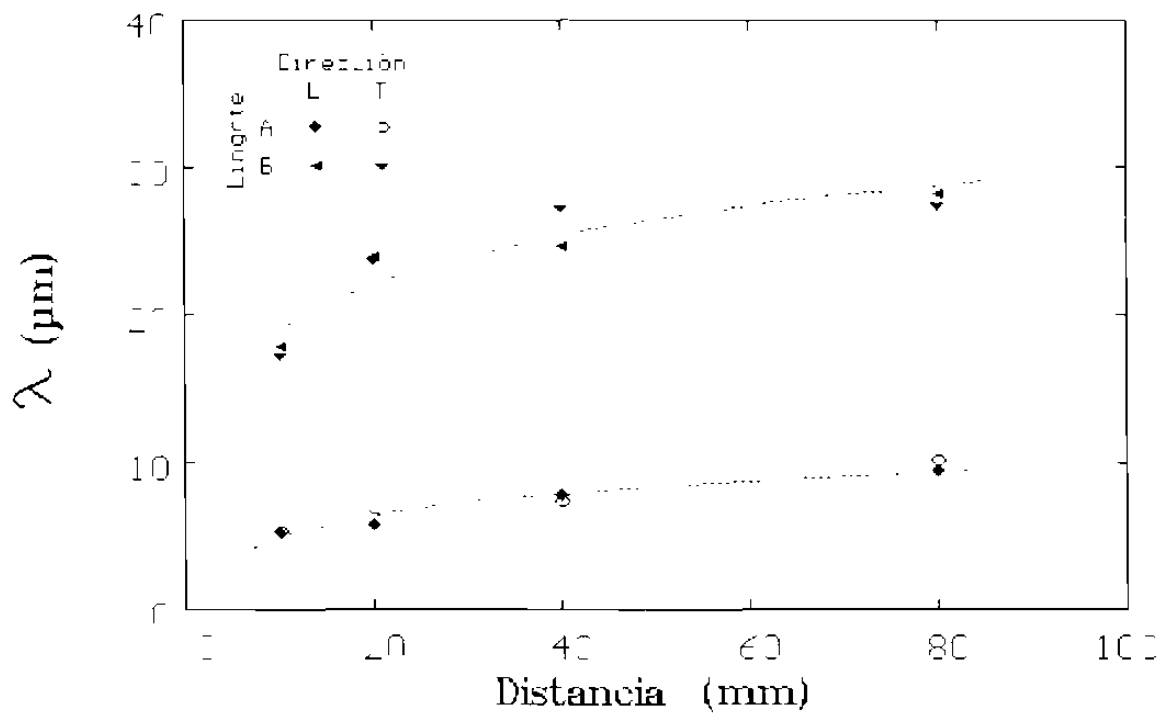


Fig. 6.6 Espaciamiento entre las partículas de silicio (λ), registrado en muestras metalográficas.

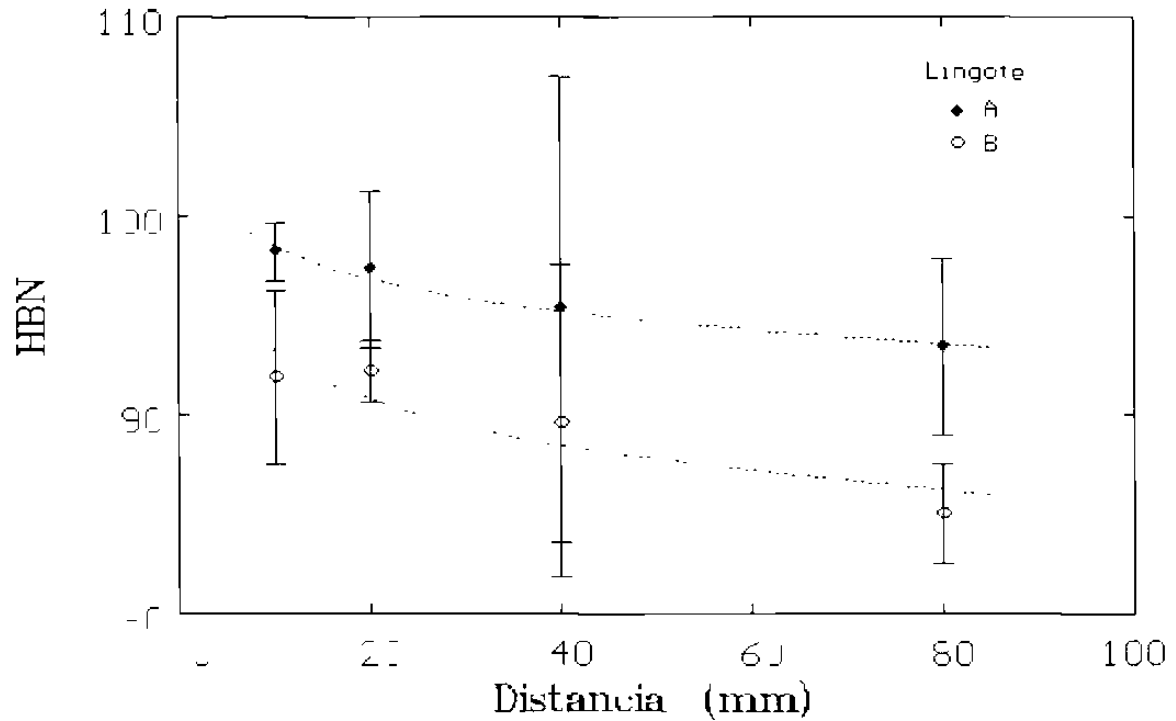


Fig. 6.7 Variación de la dureza Brinell (HBN) en función de la distancia a la que se cortaron las muestras.

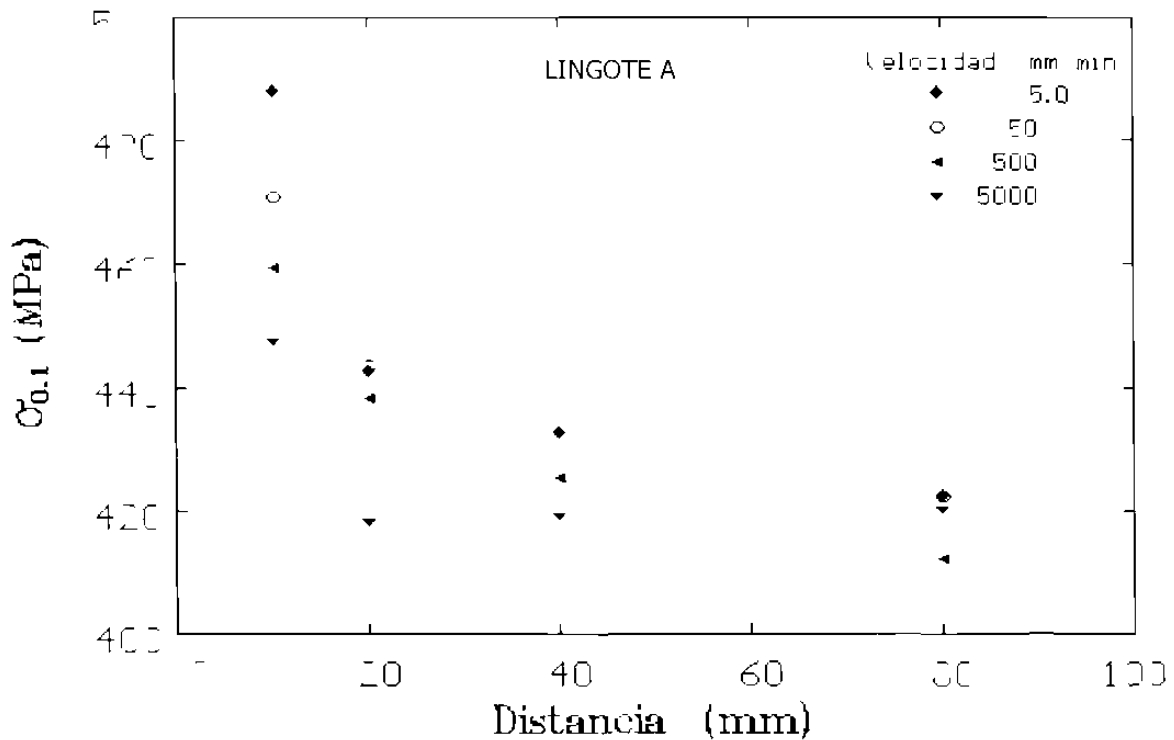


Fig. 6.8 Dependencia del esfuerzo a 0.1 de deformación, registrada en muestras de compresión maquinadas a partir del lingote A.

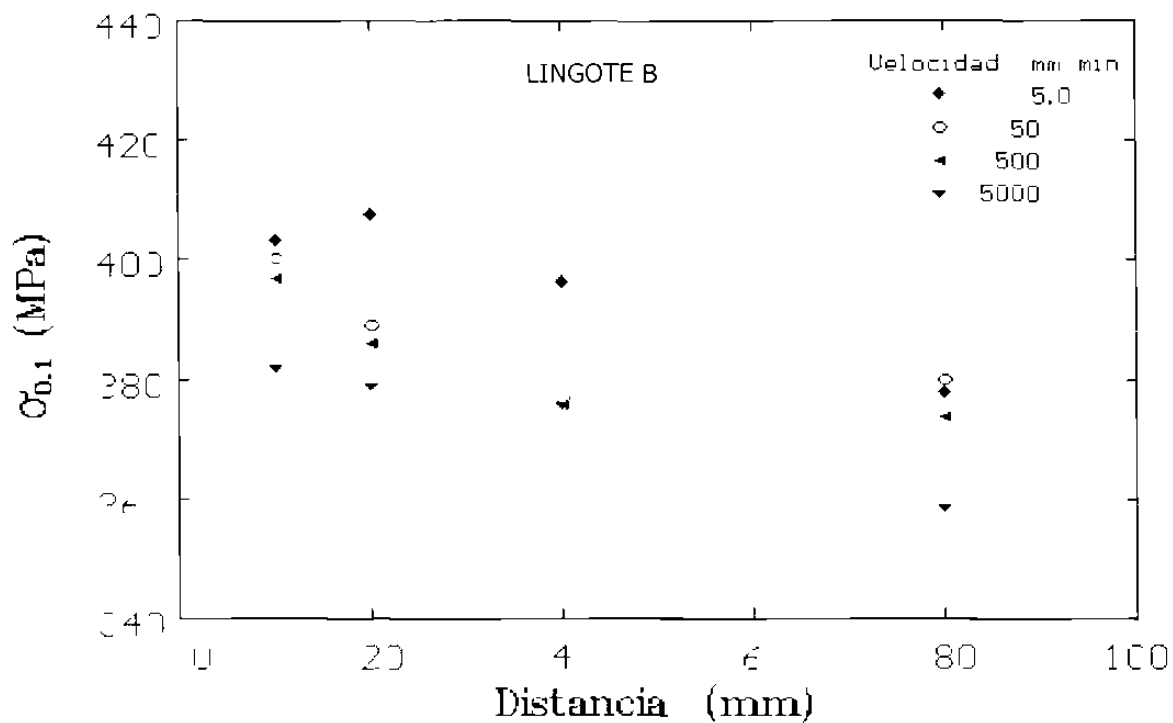


Fig. 6.9 Esfuerzo a 01 de deformación.

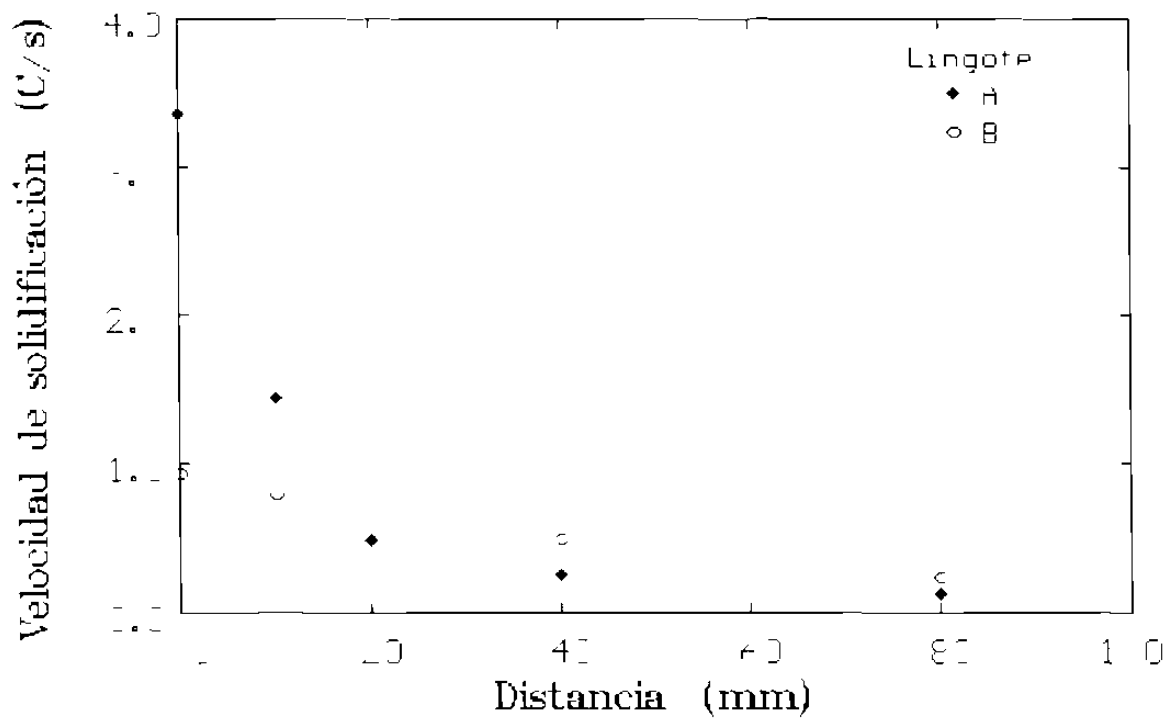


Fig. 6.10 Velocidad de inicio de solidificación detectada experimentalmente.

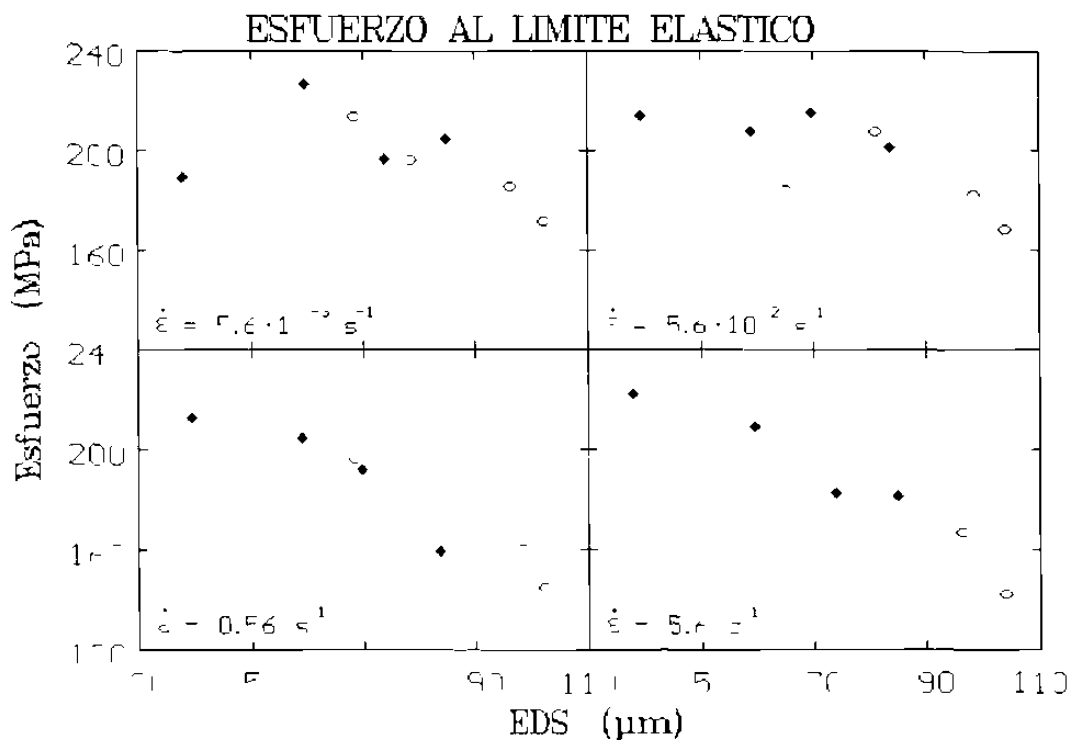


Fig. 6.11 Dependencia del esfuerzo de fluencia en función del EDS a las cuatro velocidades ensayadas.

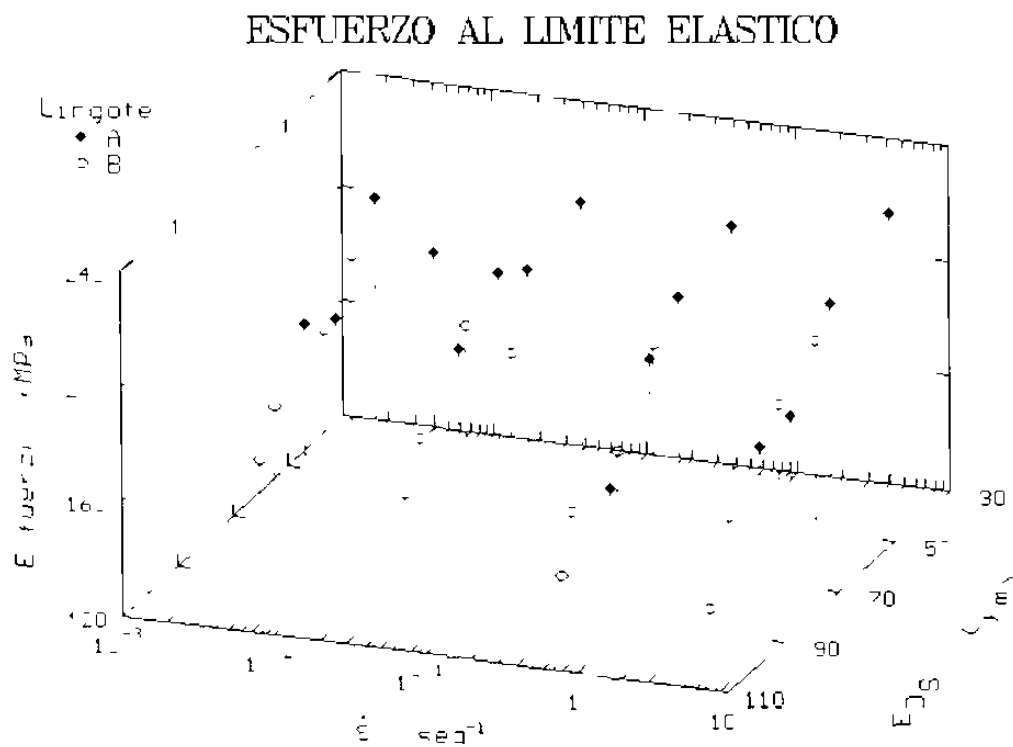


Fig. 6.12 Dependencia del esfuerzo de fluencia con la velocidad de deformación y el EDS.

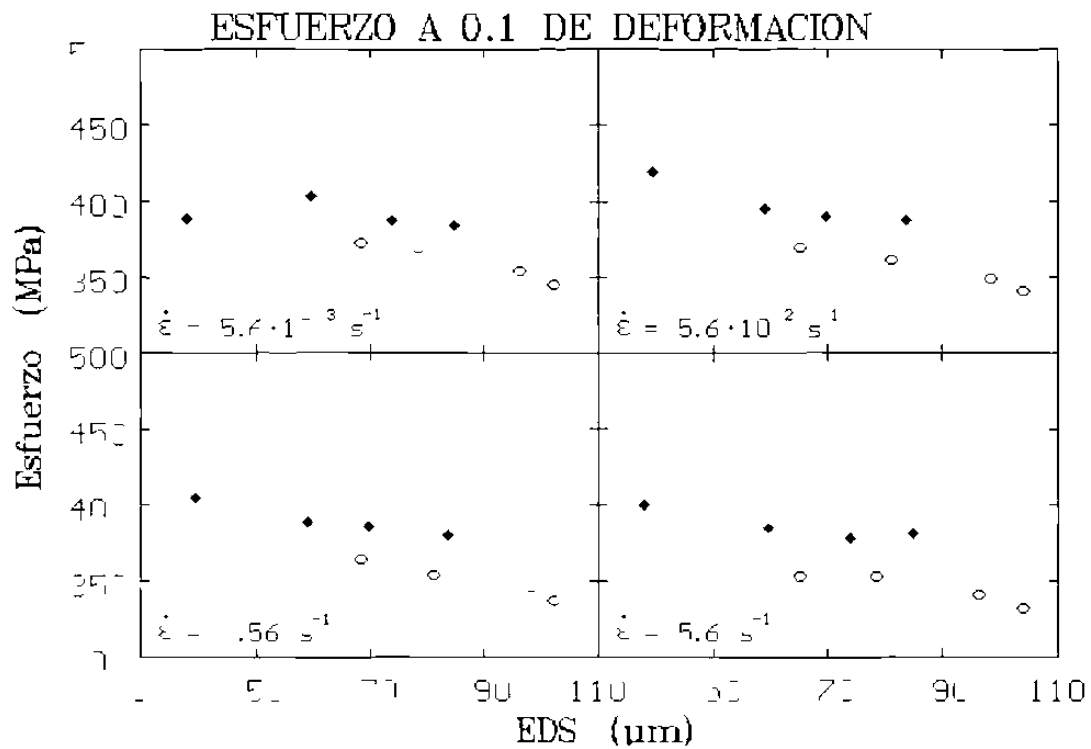


Fig. 6.13 Dependencia del esfuerzo a 0.1 de deformación en función del EDS a las cuatro velocidades ensayadas.

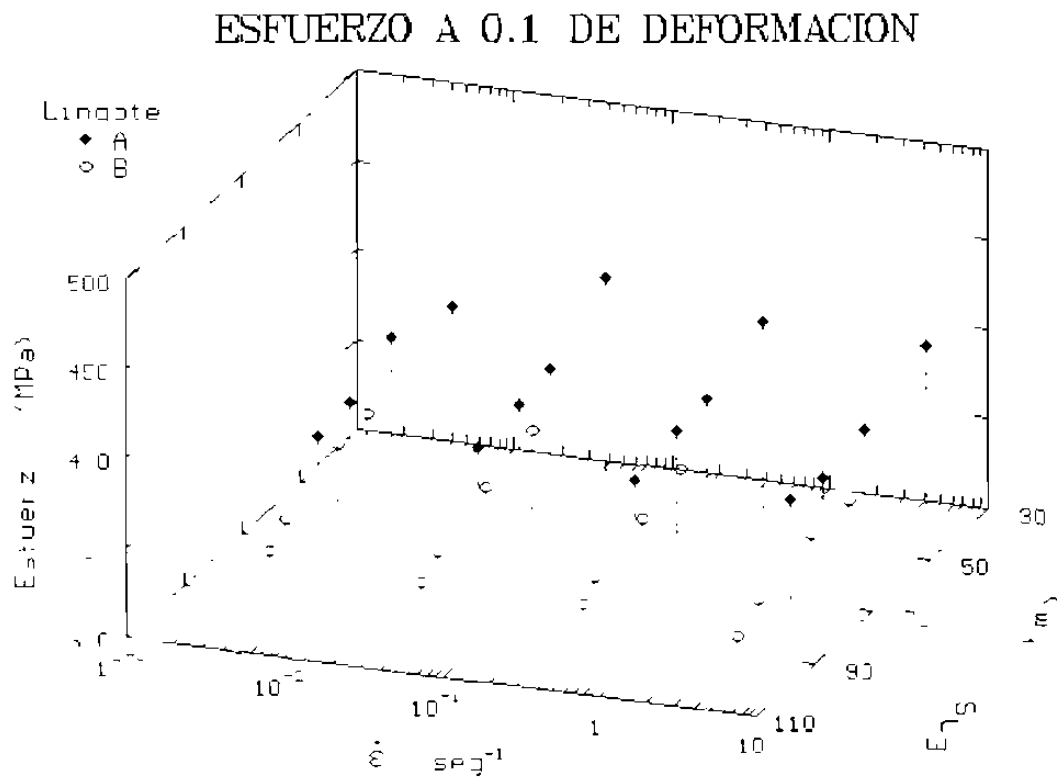


Fig. 6.14 Dependencia del esfuerzo a 0.1 de deformación en función del EDS a las cuatro velocidades ensayadas.

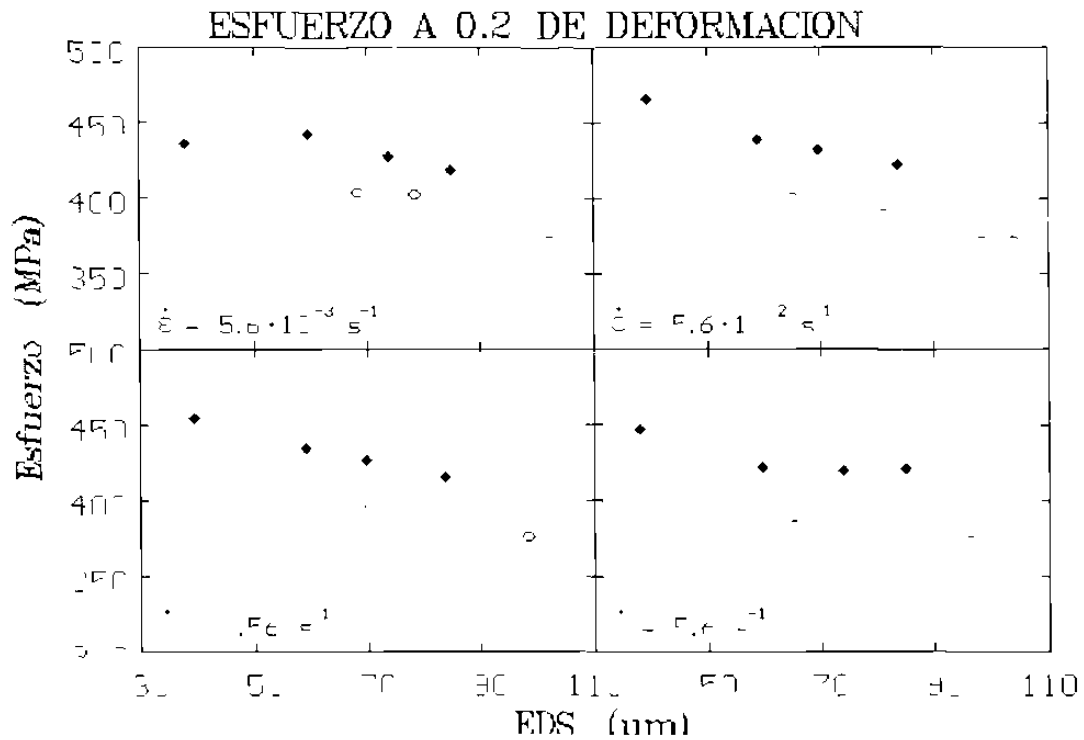


Fig. 6.15 Dependencia del esfuerzo a 0.2 de deformación en función del EDS a las cuatro velocidades ensayadas.

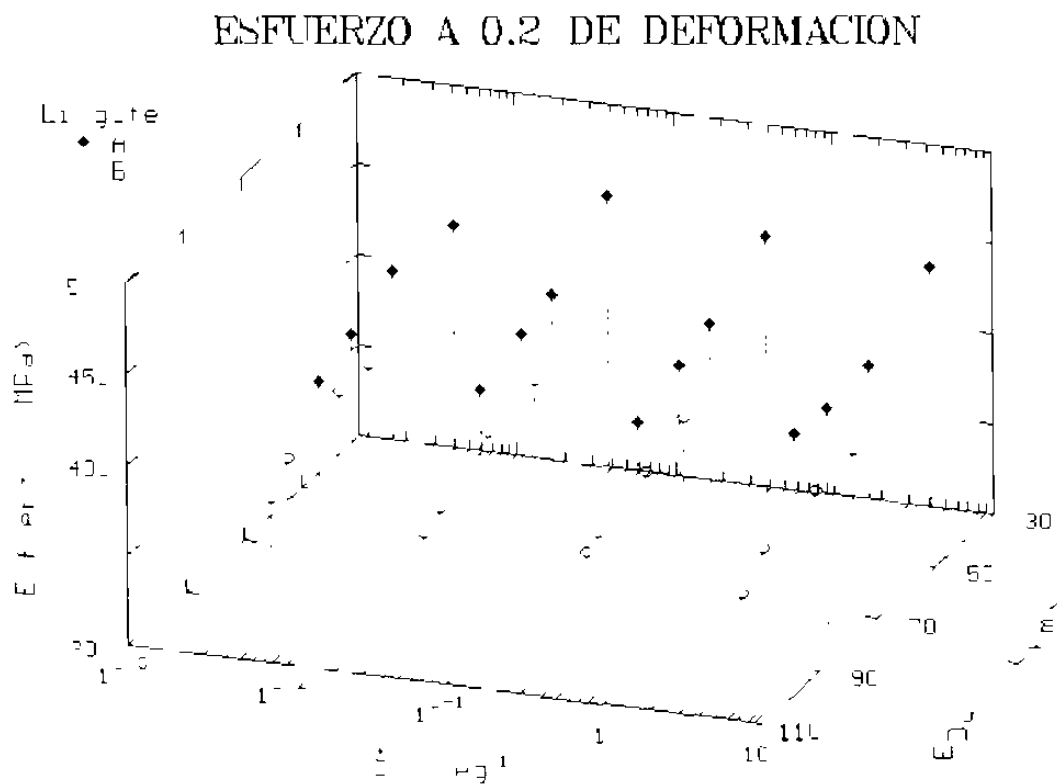
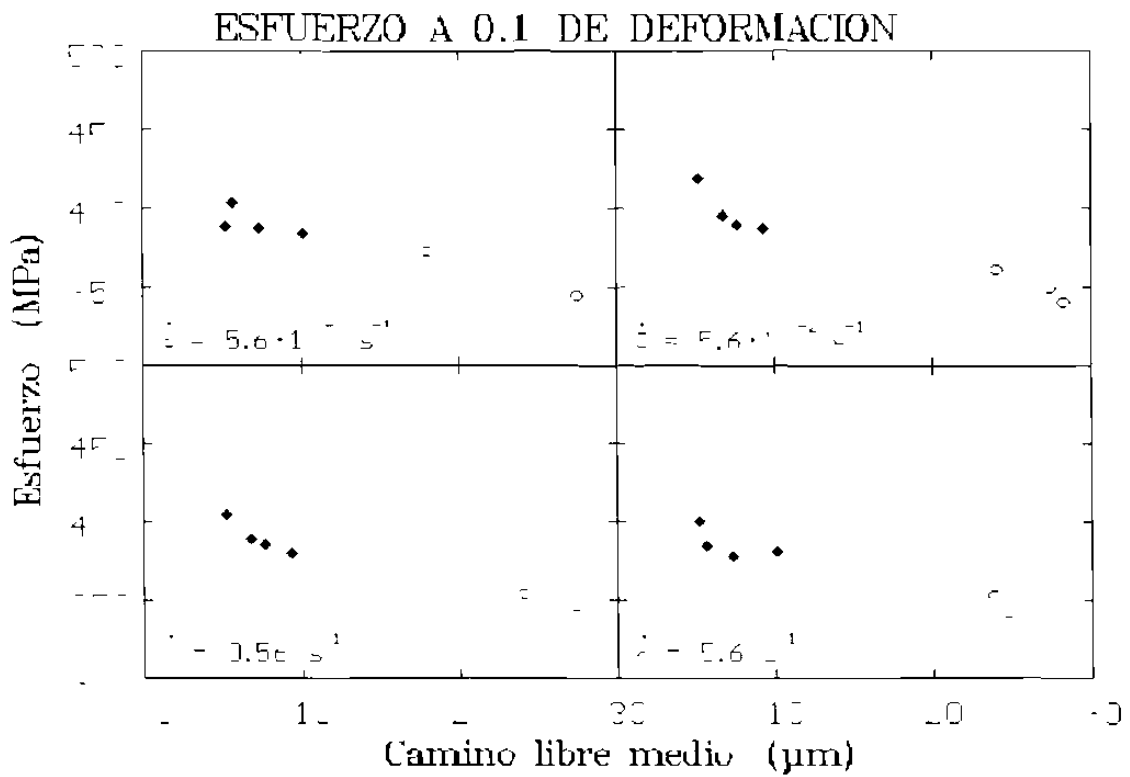
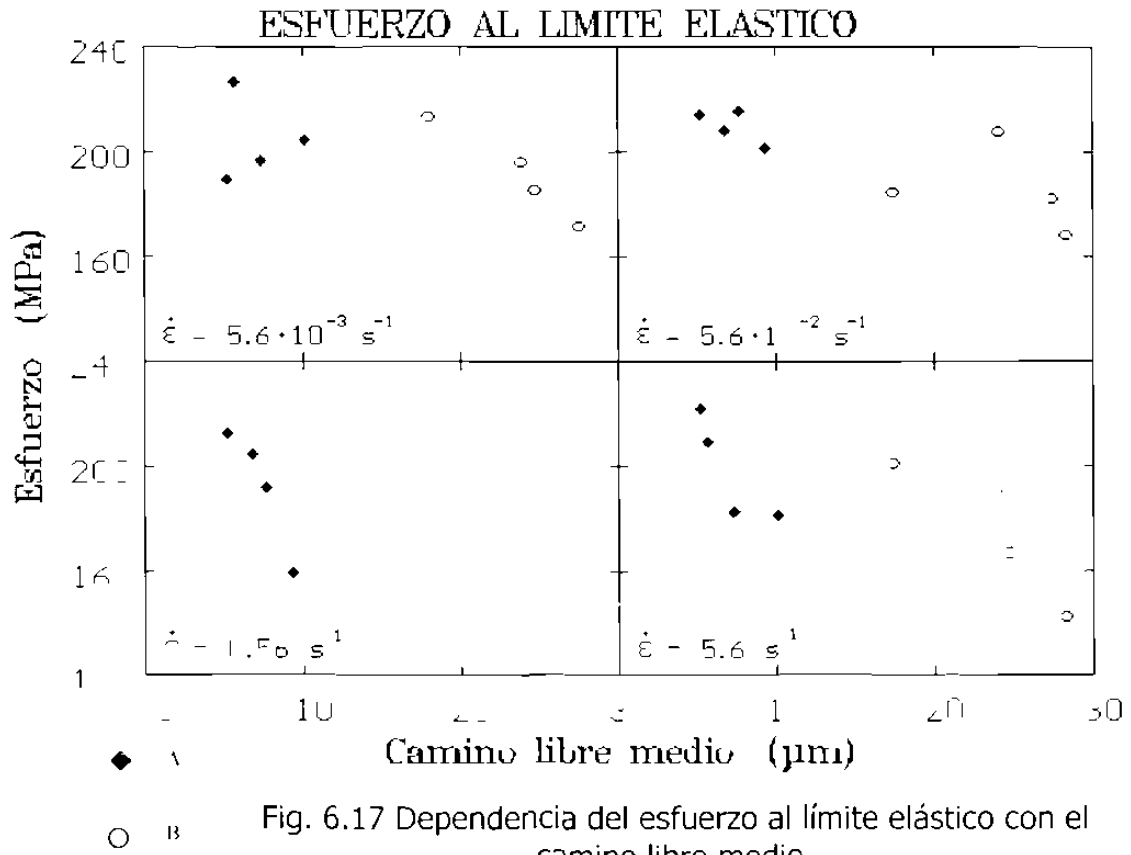
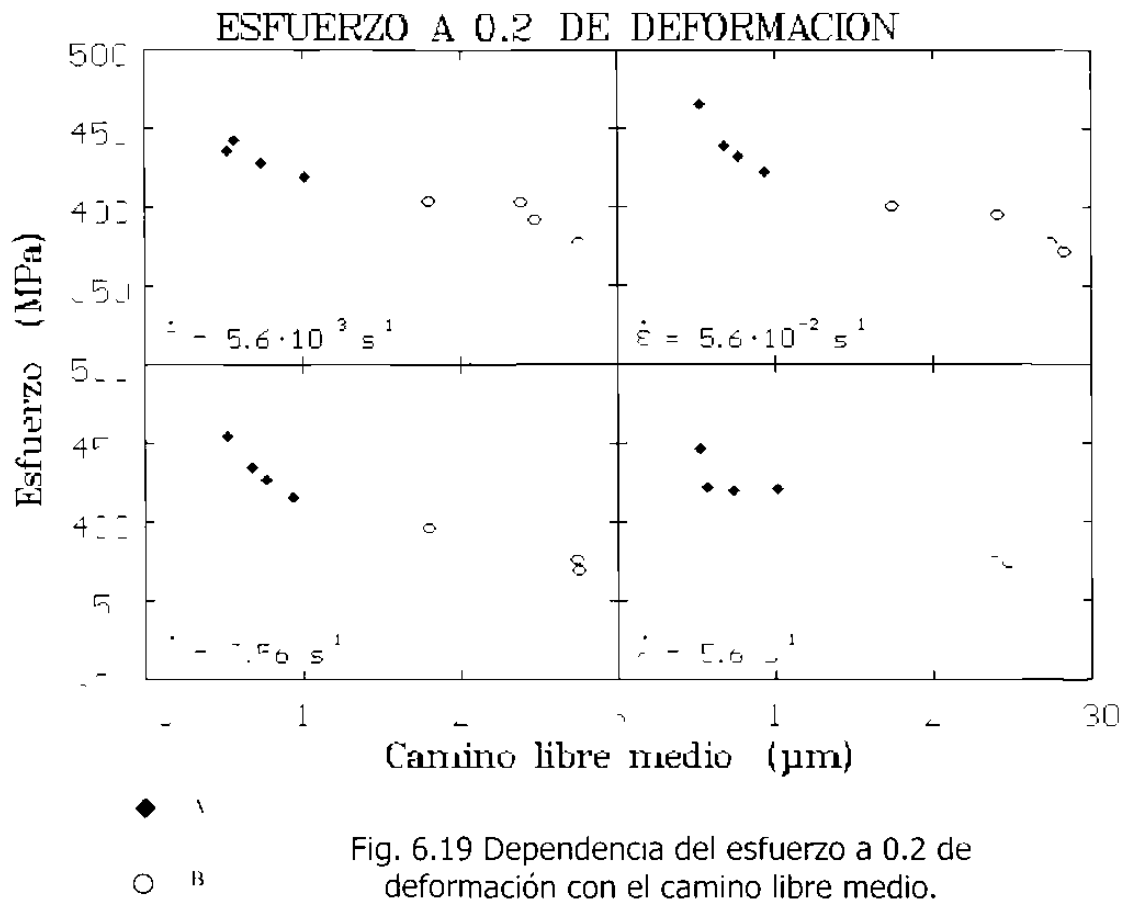


Fig. 6.16 Dependencia del esfuerzo a 0.2 de deformación en función del EDS a las cuatro velocidades ensayadas.





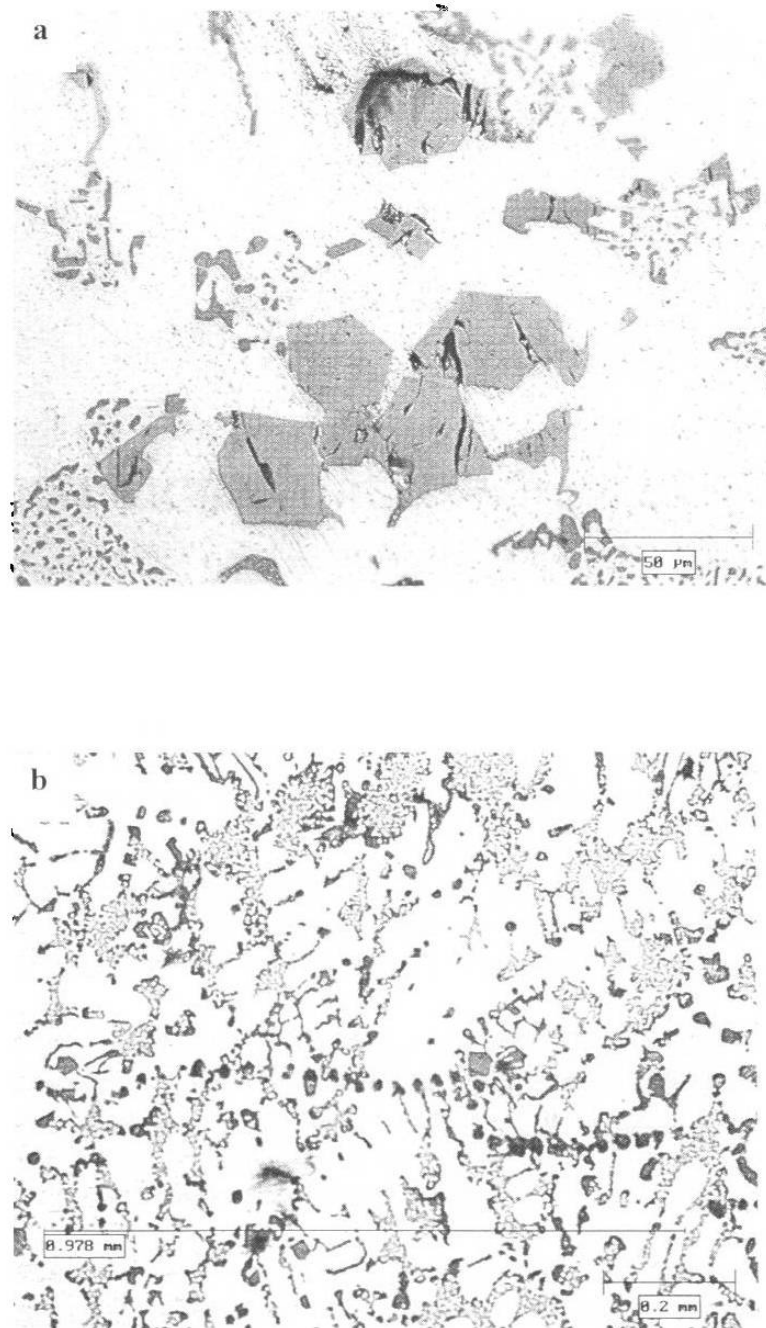


Fig. 6.20 Micrografías tomadas a la muestra AL2a antes de la fractura. (a) 500X , (b) 100X.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se observó una refinación Y modificación de la microestructura en función de la velocidad de solidificación, lo cual se aprecia con la disminución del espaciamiento dendrítico secundario y la distancia libre media que existe entre las partículas del eutéctico respectivamente.
2. Al incrementarse la distancia desde la base se tiene una marcada disminución en el esfuerzo de fluencia, lo que indica que a una mayor tasa de solidificación se obtienen las mejores propiedades.
3. El parámetro microestructural crítico que controla el inicio de la fluencia plástica, es el espaciamiento dendrítico secundario, en tanto que la forma en que la deformación procede depende del espaciamiento entre las partículas de silicio, lo cual podría ser resultado de una cierta tendencia a desarrollar inestabilidad en el flujo plástico.
4. Se observaron una serie de grietas, a bajas deformaciones, en partículas intermetálicas de hierro, las cuales tienden a coalescer y provocar la falla de la pieza.

Para respaldar los resultados aquí obtenidos sería recomendable evaluar el tamaño de grano y relacionarlo con el esfuerzo a diferentes niveles de deformación.

Sería también conveniente encontrar una interrelación entre el espaciamiento dendrítico secundario y la distancia libre media, para poder cuantificar de una manera más directa, la influencia que estas dos variables microestructurales tienen sobre las propiedades mecánicas del material.

Se recomienda evaluar los efectos aquí estudiados, en muestras tratadas térmicamente, con el propósito de tener un esquema microestructural más completo y poder relacionarlo más ampliamente con las propiedades mecánicas de la aleación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Dietrich G. Altenpohl, "Aluminum: Technology, applications, and environment, a profile of a modern metal", sixth edition, TMS Minerals Metals Materials.
2. Sydney H. Avner, "Introducción a la metalurgia física," segunda edición, Mc Graw-Hill.
3. I. J. Polmear, "Light alloys, metallurgy of the light alloys", Edward Arnold.
4. Donald R. Askeland, "La ciencia e ingeniería de los materiales", grupo editorial Iberoamérica.
5. John D. Verhoeven, "Fundamentos de metalurgia física", editorial Limusa, 253.
6. W.C. Winegard, "An introduction to the solidification of metals", The institute of metals, Londres, 1967.
7. Robert E. Reed-Hill, "Principios de metalurgia física", Compañía editorial continental, S.A., México, 1980.
8. M. Rappaz and Ch. A. Gandin, "Probabilistic modelling of microstructure formation in solidification processes", Acta metalúrgica, vol. 41, 345-360.
9. C.H. Cáceres and Q.G. Wang "Dendrite cell size and ductility of Al-Si-Mg casting alloys: Spear and Gardner revisited", Int. J. Cast metals res, 1996, 9, 157-162.
10. S. Cano, "Análisis térmico y microestructural de una aleación Al-Si tipo A-319", Universidad Autónoma de Nuevo León, 1996.
11. D.L. McLellan, "Modeling microstructural characteristics of Al-Si-Mg castings to develop product assurance", Transf. AFS, 1982, 90, 173-191.

12. N. Kanani, Berlin and G.R. Abbaschian, "Modification of aluminum silicon alloys", Department of materials science and engineering, University of Florida, Gainesville, vol. 60, 505-509.
13. John Gruzleski and Bernard M. Closset, "The treatment of liquid aluminum-silicon alloys", American Foundrymen's Society, Inc., 1990.
14. "Aluminio-estroncio para la modificación de las aleaciones aluminio-silicio hipoeutécticas", Foseco española, S.A.
15. "Standard methods of compression testing of metallic materials at room temperature, E9", annual book of ASTM standards, ASTM, Philadelphia, 1983, 140-152.
16. ASM Handbook. "Mechanical Testing"
Vol. 8. Formerly Ninth Edition, 55-58.
17. ASM Handbook. "Metallography and Microstructures"
Vol. 9. Formerly Ninth Edition, 123-134.
18. George E. Dieter. "Mechanical Metallurgy"
SI Metric Edition. McGraw-Hill Book Company, 283-289.
19. Q. G. Wang, C. H. Cáceres and J. R. Griffiths. "The cracking of Fe rich intermetallics and eutectic Si particles in an Al-7Si-0.7Mg casting alloy", American Foundrymen's Society, Inc., Mayo 1998, 1-5Q.C.
20. C. H. Cáceres, C. J. Davidson, J. R. Griffiths. "The deformation and Fracture behavior of an Al-Si-Mg casting alloy". Materials Science and Engineering A197 (1995). 171-179.
21. R. Colás, A. Grinberg. "A study of strain localization by means of reduced gage compression testing".
Journal of Materials Processing Technology 88 (1999), 276-286.
22. R. Colás, A. Grinberg, Mater.Sci. Eng. A161 (193) 201.

INDICE DE FIGURAS

FIG.	DESCRIPCION	PAG.
2.1	Curva de enfriamiento para un metal puro.	6
2.2	Dependencia de la temperatura en la energía libre del volumen de las fases sólida y líquida.	8
2.3	Interficie de separación al formarse el sólido a partir de la fase líquida.	9
2.4	Energía libre del sistema en relación con el tamaño del sólido.	10
2.5	Formación de un sólido durante la nucleación heterogénea.	11
2.6	Estructura fcc que muestra las disposiciones atómicas sobre las superficies [100] y [111].	12
2.7	Interfase estacionaria entre el líquido y el sólido.	12
2.8	Crecimiento planar a una temperatura del líquido mayor a la de solidificación.	13
2.9	Relación entre la temperatura y la distancia desde la interfase sólido líquido.	14
2.10	Sobreenfriamiento con un gradiente de temperatura negativo y morfología dendrítica resultante.	15
2.11	Etapas iniciales en el crecimiento de una dendrita metálica.	16
2.12	Representación esquemática del primer paso en el crecimiento dendrítico.	17
2.13	Crecimiento de brazos dendríticos secundarios debido a un descenso en el gradiente de temperatura.	17
2.14	En un cristal cúbico los brazos dendríticos se forman a lo largo de las direcciones $\langle 100 \rangle$.	18
2.15	Razón del crecimiento contra bajo enfriamiento de una dendrita.	20
2.16	Espaciamiento dendrítico secundario.	21
2.17	Ilustración del método de intersección lineal usado para medir el tamaño de estructura dendrítica.	22

3.1	Diagrama de fases en equilibrio del sistema binario aluminio-silicio.	24
3.2	Microestructura de una aleación aluminio-silicio después de un enfriamiento lento.	25
3.3	Estructura de una aleación Al-7%Si vaciada sin modificar y modificada con estroncio.	26
3.4	Estructura de una colada modificada con estroncio de una aleación Al-7%Si.	27
3.5	Impacto de la velocidad de enfriamiento y la temperatura de equilibrio eutectica sobre la línea liquidus.	28
3.6	Microestructura de una aleación Al-12%Si, después de enfriar rápidamente.	29
3.7	Representación esquemática del crecimiento de un cristal de silicio acicular.	32
3.8	Maclado en un cristal.	33
3.9	Representación esquemática de la interfase sólido líquido de un cristal de silicio solidificado.	33
3.10	Una impureza generando maclado.	34
4.1	Diagrama esquemático del pandeamiento de un espécimen en compresión.	37
4.2	Abarrilamiento durante un ensayo cuando el coeficiente de fricción es de 1.00 en la cara de carga.	38
4.3	Comparación entre las curvas esfuerzo-deformación ingenieril y real.	41
5.1	Zonas de análisis metalográfico y mecánico.	43
5.2	Obtención de probetas para análisis metalográfico y mecánico.	43
5.3	Determinación del esfuerzo dendrítico secundario. 100X.	44
5.4	Intersección lineal, al azar, de las partículas del eutectico para determinar N_L . 500X.	45
5.5	Fase eutectica sombreada por el analizador de imágenes para determinar la fracción de área del eutectico. 500X.	46
5.6	Probeta cilíndrica para compresión.	47

INDICE DE TABLAS

TABLA	DESCRIPCION	PAG
2.1	Direcciones cristalograficas preferenciales del crecimiento en las dendritas.	19
3.1	Aleaciones de colada aluminio-silicio más comunes y sus composiciones.	23
3.2	Mejoramiento en las propiedades mecánicas de una aleación Al-13%Si.	29
3.3	Modificación por adición de sodio, incrementando la temperatura de la aleación Al-Si.	30
5.1	Composición química en las zonas de interés de los lingotes A y B.	48
5.2	Clasificación y dimensiones de las probetas ensayadas en compresión.	49

ANEXO I

RESULTADOS MICROESTRUCTURALES

ESPACIAMIENTO DENDRITICO SECUNDARIO (Micrones)

LINGOTE A

PROBETA	EDS	DESV.EST.
AL1	38.08	8.80
AT1	39.35	8.52
AL2	59.55	5.21
AT2	58.92	2.10
AL4	69.63	6.62
AT4	73.81	12.76
AL8	83.61	7.77
AT8	84.73	8.39

LINGOTE B

PROBETA	EDS	DESV. EST.
BL1	68.32	5.66
BT1	64.86	2.67
BL2	81.05	7.54
BT2	78.23	12.11
BL4	96.07	9.78
BT4	98.03	9. 2
BL8	103.73	8.74
BT8	101.91	6.88

A y B Lingote
 L y T Longitudinal y Transversal
 1,2,4 y 8 Posicion desde la base en cm

DISTANCIA LIBRE PROMEDIO (MICRONES)

LINGOTE A

PROBETA	LAMDA
AL1	5.17
AT1	5.25
AL2	5.66
AT2	6.75
AL4	7.67
AT4	7.33
AL8	9.37
AT8	10.15

LINGOTE B

PROBETA	LAMDA
BL1	17.93
BT1	17.29
BL2	23.99
BT2	23.79
BL4	24.66
BT4	27.29
BL8	28.18
BT8	27.45

DUREZA (BRINELL

LINGOTE A

PROBETA	HB
AL2	97.23
AL4	95.30
AL8	93.38

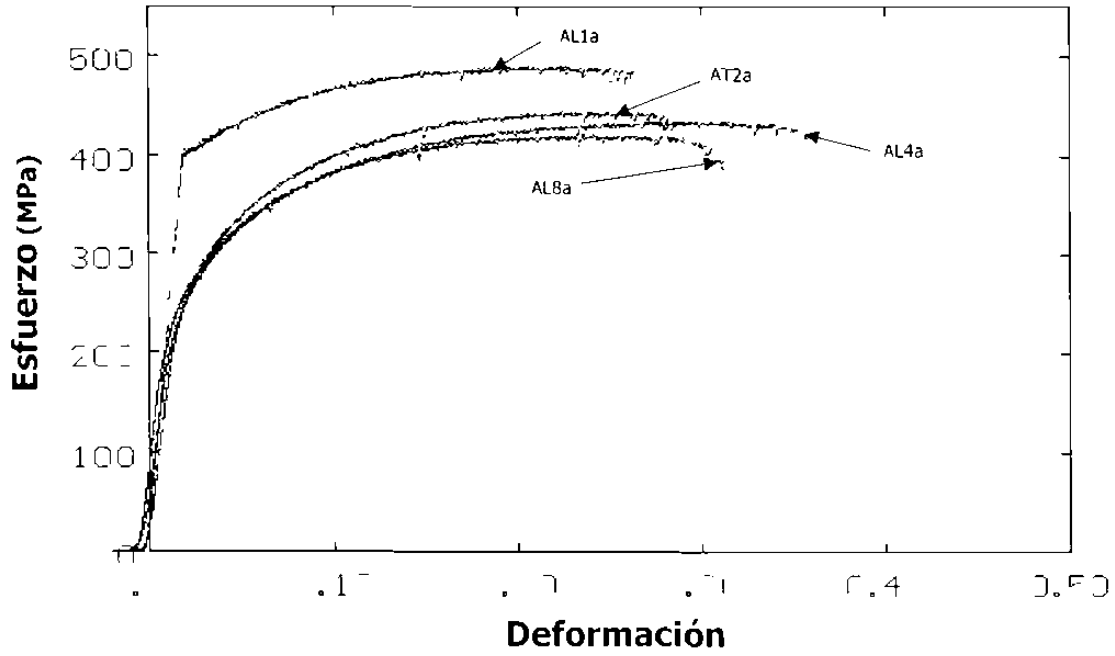
LINGOTE B

PROBETA	HB
BL1	91.88
BL2	92.11
BL4	89.69
BL8	85.00

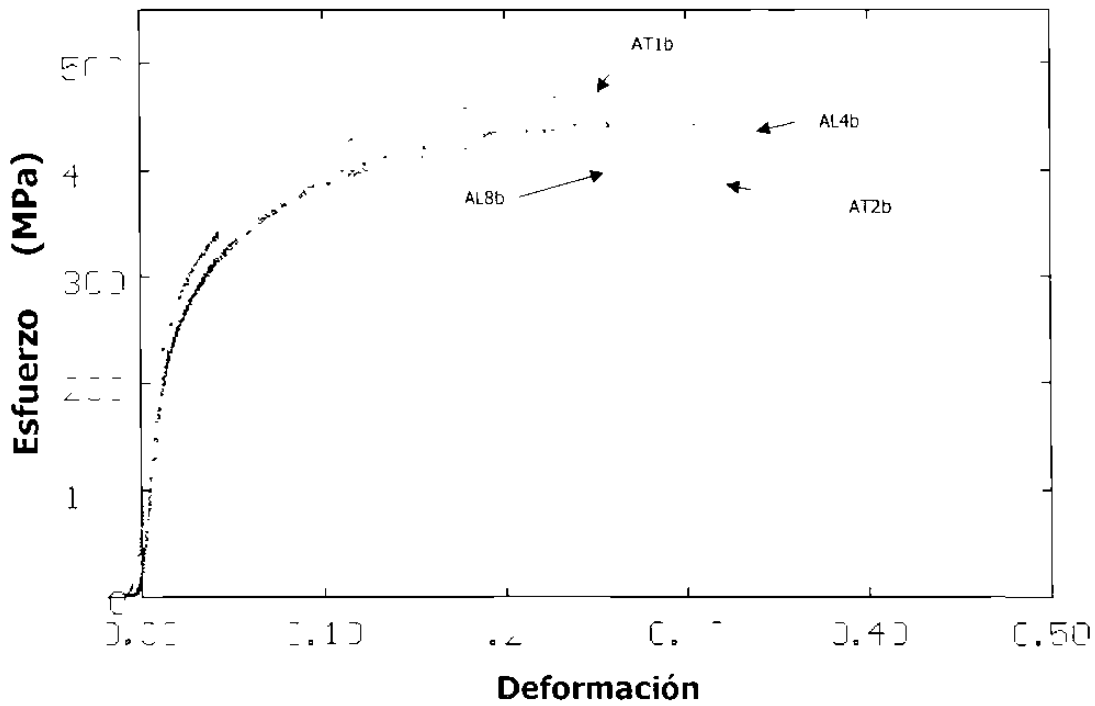
ANEXO II

CURVAS ESFUERZO – DEFORMACION

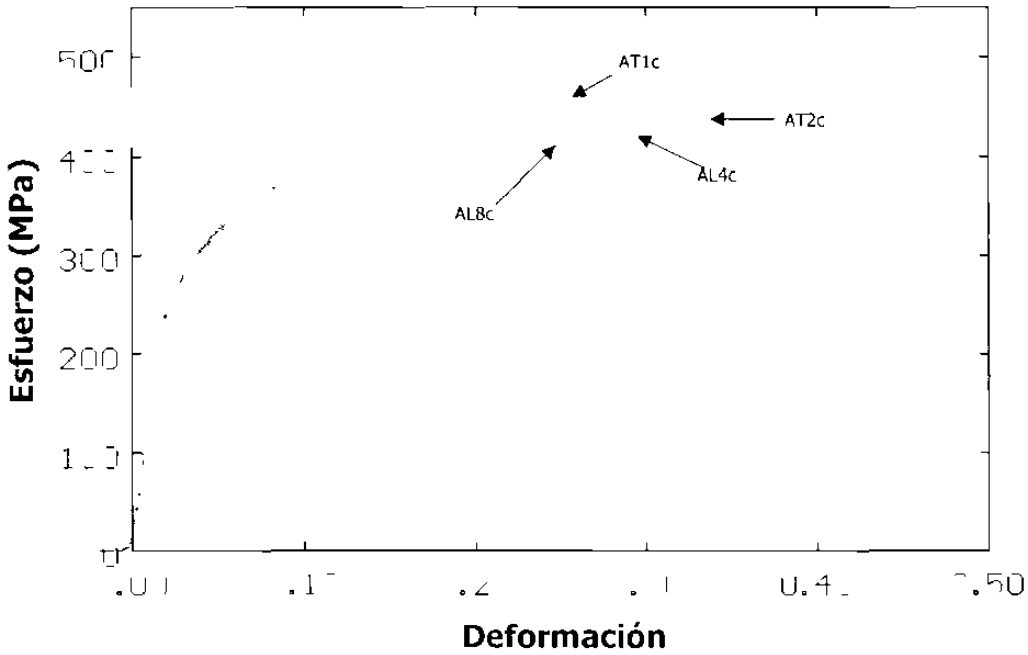
LINGOTE A/ENSAYO DE COMPRESION A 0.5 mm/min.



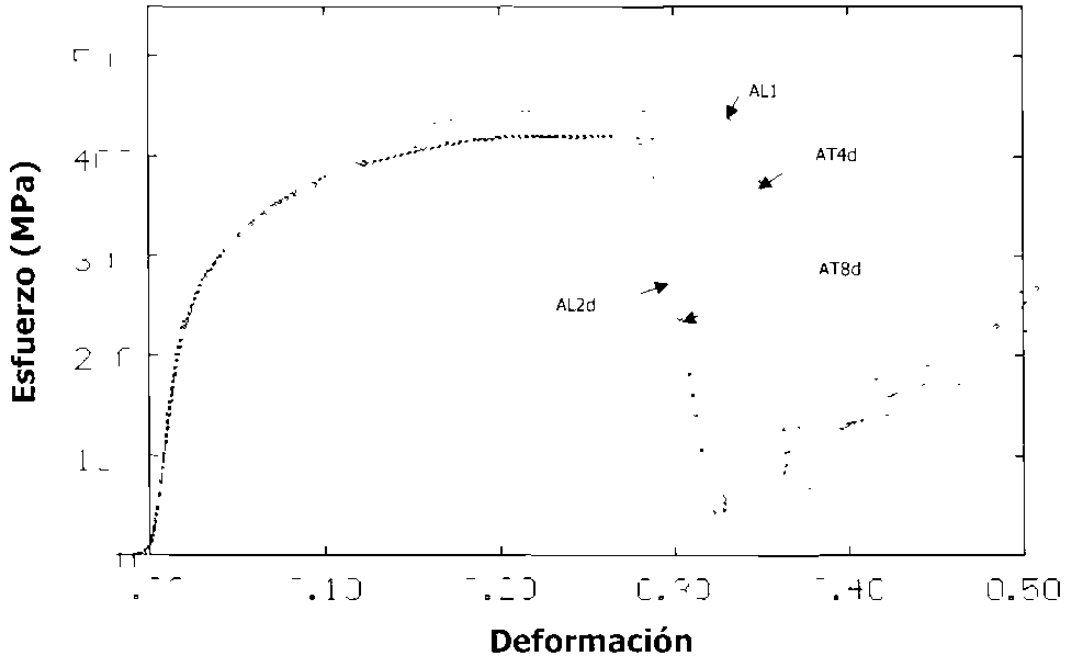
LINGOTE A/ENSAYO DE COMPRESION A 5.0 mm/min

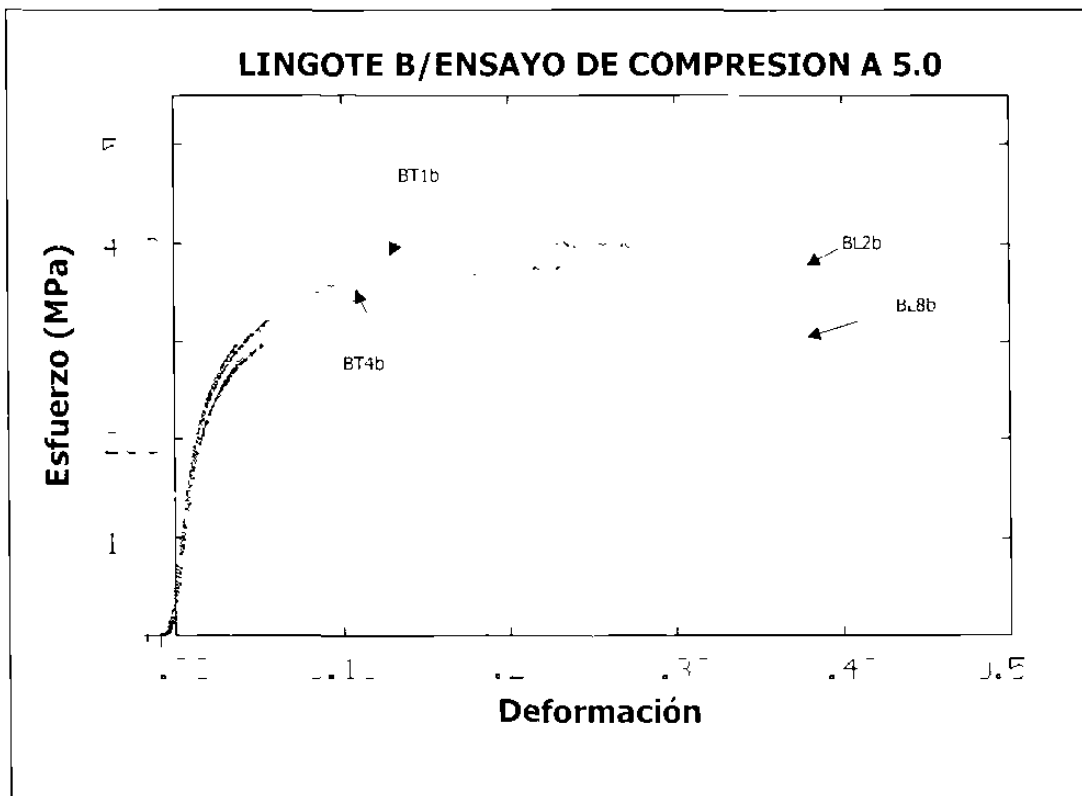
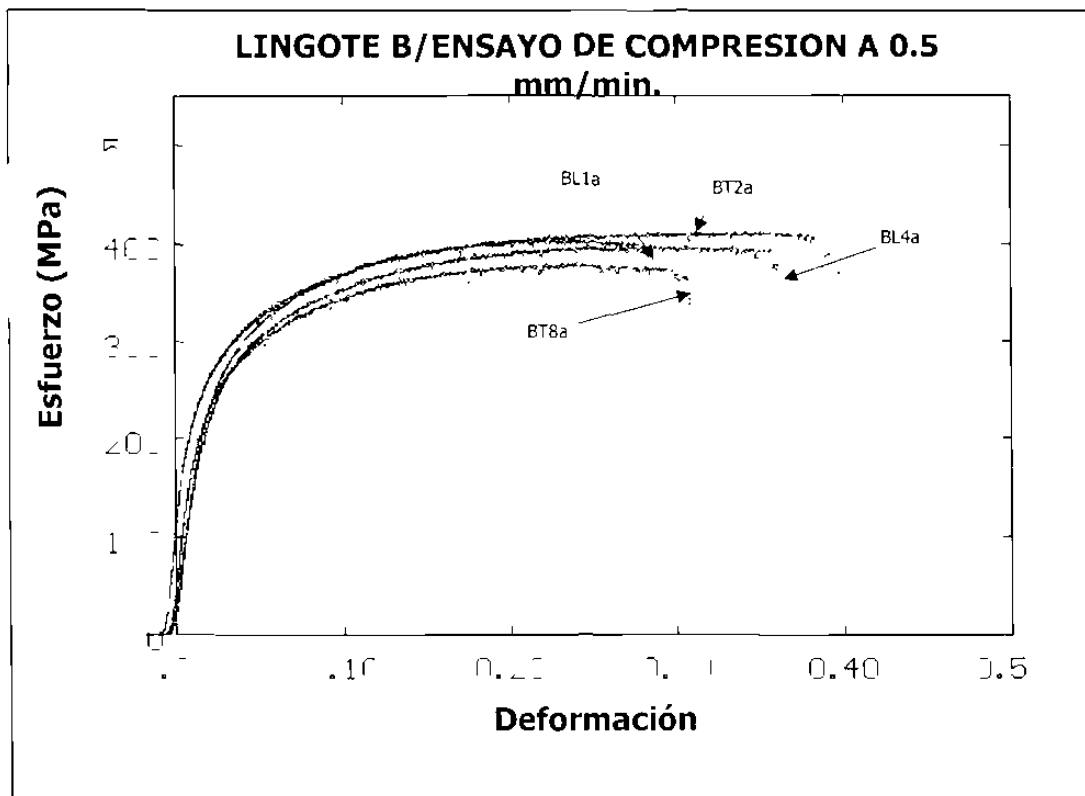


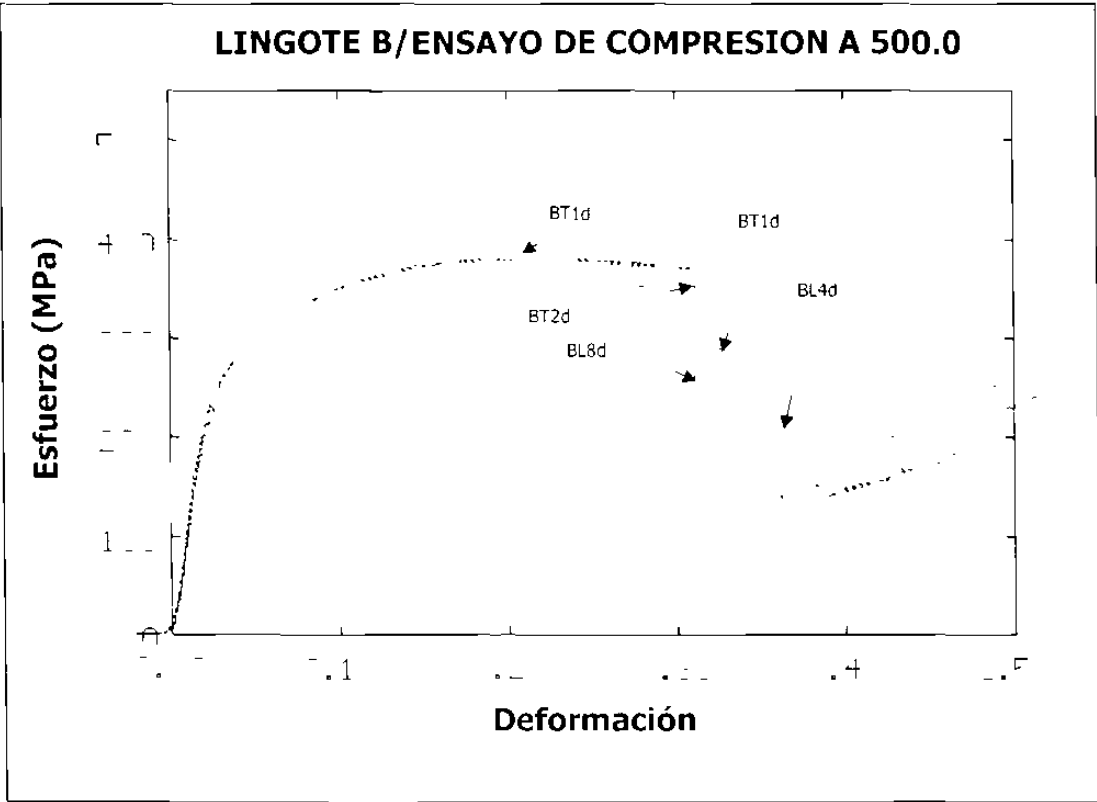
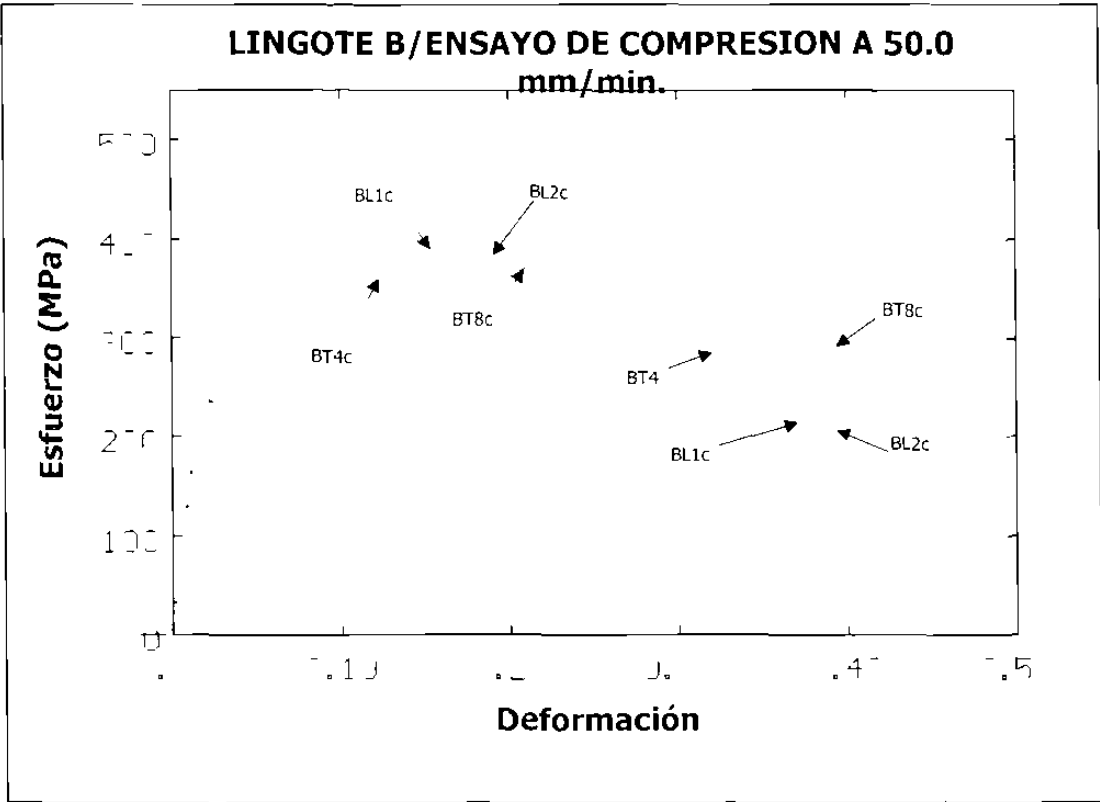
LINGOTE A/ ENSAYO DE COMPRESION A 50.0



LINGOTE A/ ENSAYO DE COMPRESION A 500.0







ANEXO III

ESFUERZOS AL LIMITE ELASTICO,
A 0.1 Y 0.2 DE DEFORMACION

ESFUERZO AL LIMITE ELASTICO, AL 0.1 Y 0.2 % DE DEFORMACION

PROBETA	0.1%	0.2%	LE	EDS
AL1a	387.850	434.580	188.5	38.08
AL2a	401.870	440.810	225.9	59.55
AT4a	386.290	426.791	196.3	73.81
AT8a	383.178	417.445	204.1	84.83
AT1b	417.445	464.174	213.4	39.35
AT2b	394.081	437.695	207.2	58.92
AL4b	389.408	431.464	215.0	69.63
AL8b	386.293	420.561	200.9	83.61
AT1c	403.427	453.271	211.8	39.35
AT2c	387.850	433.022	204.1	58.92
AL4c	384.735	425.234	191.6	69.63
AL8c	378.505	414.330	158.9	83.61
AL1d	398.754	445.483	221.2	38.08
AL2d	383.178	420.561	208.7	59.55
AT4d	376.947	419.003	182.2	73.81
AT8d	380.062	420.101	180.7	84.73
BL1a	372.274	403.427	213.4	68.32
BT2a	369.159	401.869	196.3	78.23
BL4a	353.583	390.966	185.4	96.07
BT8a	344.237	376.947	171.3	101.91
BT1b	369.159	400.312	183.8	64.86
BL2b	361.371	394.081	207.2	81.5
BT4b	348.910	369.947	182.2	98.03
BL8b	339.564	370.717	168.2	103.73
BL1c	362.928	395.639	196.3	68.32
BL2c	353.583	383.178	169.8	81.5
BT4c	345.794	375.389	163.6	98.03
BT8c	336.449	369.159	144.9	101.91
BT1d	352.025	383.178	200.9	64.86
BT2d	352.025	380.062	190.0	78.23
BL4d	341.121	373.832	166.7	96.07
BL8d	331.776	359.813	141.7	103.73

PRINCIPALES PUNTOS DE LAS GRAFICAS OBTENIDAS EN EL LINGOTE A

GRAF.	E.F. MPa	D.F %	E.M. MPa	D.M. %	E.R. MPa	D.R. %
AL1a	397.2	0.018	487.88	0.212	479.75	0.262
AL2a	225.86	0.015	442.42	0.239	434.58	0.282
AT4a	196.26	0.009	432.32	0.29	390.97	0.364
AT8a	204.05	0.008	422.12	0.239	381.62	0.313
AT1b	213.4	0.09	470.71	0.254	454.83	0.307
AT2b	207.16	0.012	443.43	0.277	425.23	0.318
AL4b	214.95	0.012	439.39	0.272	417.44	0.348
AL8b	200.93	0.11	422.12	0.217	412.77	0.251
AT1c	211.84	0.014	459.6	0.281	451.71	0.346
AT2c	204.05	0.013	438.38	0.28	431.46	0.359
AL4c	191.59	0.012	425.25	0.239	412.77	0.309
AL8c	158.88	.008	412.12	0.204	384.73	.28
AL1d	221.18	0.017	447.47	0.245	434.6	0.336
AL2d	208.72	0.017	418.18	0.208	409.66	0.286
AT4d	182.24	0.014	419.15	0.239	409.66	0.324
AT8d	180.68	0.014	420.2	0.229	415.89	0.287

PRINCIPALES PUNTOS DE LAS GRAFICAS OBTENIDAS EN EL LINGOTE B

GRAF.	E.F. MPa	D.F. %	E.M. MPa	D.M. %	E.R. MPa	D.R. %
BL1a	213.4	0.017	403.03	0.227	389.41	0.285
BT2a	196.26	0.013	407.07	0.316	400.31	0.391
BL4a	185.36	0.014	395.96	0.294	373.83	0.361
BT8a	171.34	0.008	377.78	0.261	353.58	0.309
BT1b	183.8	0.01	400.01	0.242	380.06	0.289
BL2b	207.16	0.013	389.02	0.346	373.83	0.378
BT4b	182.24	0.012	376.77	0.234	364.49	0.296
BL8b	168.22	.009	379.8	0.334	353.59	0.369
BL1c	196.26	0.014	396.97	0.238	381.62	0.318
BL2c	169.78	0.011	385.86	0.242	370.72	0.345
BT4c	163.55	0.01	375.76	0.219	355.14	0.306
BT8c	144.86	0.009	373.74	0.253	341.12	0.364
BT1d	200.93	0.018	381.82	0.215	369.16	0.312
BT2d	190.03	0.017	378.79	0.216	369.17	0.309
BL4d	166.67	0.014	375.76	0.244	364.49	0.333
BL8d	141.74	0.012	358.59	0.219	348.91	0.288

A y B Lingote
L y T Longitudinal y Transversal

1,2,4 y 8 Posicion desde la base en cm

