

Tabla 5.3. Valores de k_T para cada zona del lingote

Temperatura /°C	Función (NÚCLEO)	K_T
450	$D = k_{450}t^{0,2}$	0,409
500	$D = k_{500}t^{0,2}$	0,605
550	$D = k_{550}t^{0,2}$	0,774
Temperatura /°C	Función (PERIFERIA)	K_T
450	$D = k_{450}t^{0,2}$	0,565
500	$D = k_{500}t^{0,2}$	0,603
550	$D = k_{500}t^{0,2}$	0,973

Representando los valores de k_T en función de $1/T$ obtenemos las gráficas de las Figs. 5.52 y 5.53.

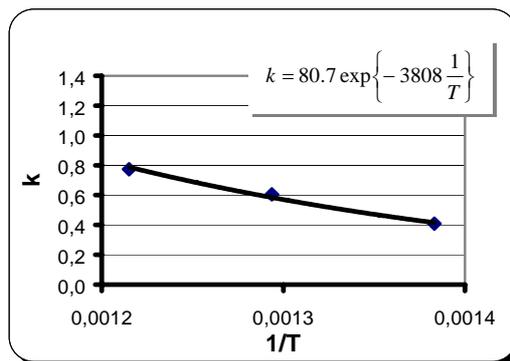


Figura 5.52. Determinación de K para el núcleo del lingote de Rheocasting.

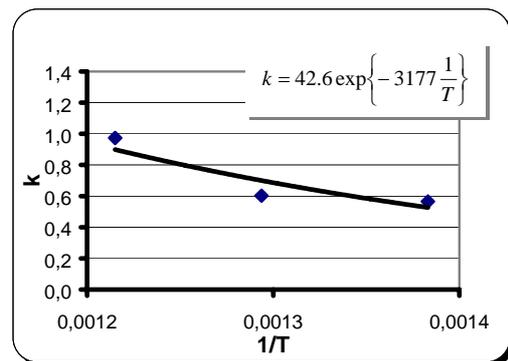


Figura 5.53. Determinación de K para la periferia del lingote de Rheocasting.

Aplicando la Ecuación 3.3 obtenemos los valores de k , de Q/R y de la energía de activación Q . Estos valores se muestran en la Tabla 5.4.

$$K = K_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \tag{3.3}$$

Tabla 5.4 Valores de la energía de activación.

	K_0	Q/R	Q kJ/mol
núcleo	80,7	3808	32
periferia	42,6	3177	26

Este valor de la energía de activación para el crecimiento del silicio, valor medio de 29 kJ/mol, está de acuerdo con el que se describe en la bibliografía [Smi83], de 32,75 kJ/mol para el rango de temperaturas $480 \div 620$ °C, para la difusión del silicio en aluminio.

Ello confirma que el exponente de la Ecuación 2.4, $m = 5$ (de la Ecuación 3.1, $n = 0,2$) que se ha utilizado es adecuado, y el mecanismo de crecimiento puede deberse a la difusión del silicio en el seno de la matriz, tal y como se explicó en el Apartado 3.1.2. El silicio difunde a la interfase aluminio-silicio por migración a través de la matriz de aluminio, favorecido por la presencia de defectos, provocando el crecimiento de los cristales de silicio.

5.5 EVOLUCIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL LINGOTE RECALENTADO AL ESTADO SEMISÓLIDO

5.5.1 Tratamiento térmico

El lingote ha sido recalentado en un horno de inducción a la temperatura de 571 °C durante 7 minutos y, posteriormente, se ha templado en agua, interrumpiendo el proceso cuando éste debía ser inyectado en estado semisólido. Este tratamiento al estado semisólido produce la fusión del microconstituyente eutéctico mientras la fase α se mantiene sólida [Fig98]. El proceso de recalentado se ha realizado en tres etapas, en las siguientes condiciones:

1ª etapa: $t = 5$ s, $P = 27$ kW, $E = 1590$ W.h

2ª etapa: $t = 5$ s, $P = 19$ kW, $E = 560$ W.h

3ª etapa: $t = 6$ min 50 s, $P = 13$ kW, $E = 470$ W h

donde t es el tiempo; P es la potencia de calentamiento; y E es la energía transferida al lingote en cada una de las etapas.

Con estas tres etapas se pretende que la temperatura del lingote sea homogénea. No obstante, esto es difícil [Gar98][Kan00] ya que la parte externa se calienta siempre con mayor rapidez.

Mediante el análisis microestructural se determina el efecto del recalentamiento en cada una de las zonas. Estos resultados se comparan con los obtenidos en el lingote de Rheocasting y con la evolución de las diferentes zonas del lingote recalentado.

5.5.2 Análisis metalográfico

Para realizar el estudio cuantitativo y microestructural del lingote recalentado se han considerado tres zonas (véase Fig. 5.2): núcleo, zona intermedia y periferia.

La estructura en este caso es más homogénea y no se observan claras diferencias, a nivel macroscópico, entre núcleo, zona intermedia y periferia. La piel no tiene la estructura dendrítica observada en el lingote de Rheocasting y su estructura no es diferente de la observada en el resto de la pieza.

Se observa que los granos α mantienen su aspecto globular pero han aumentado de tamaño respecto al lingote de Rheocasting, y aparecen unas esferas de eutéctico en el interior de la fase α (Fig. 5.54).

El silicio eutéctico disminuye de tamaño del interior al exterior del lingote (se hace unas 4 veces menor), siendo en todos los casos mayor que el silicio eutéctico del lingote de Rheocasting.

En el interior de la fase α se han detectado esferoides de eutéctico de dos tipos (Fig. 5.55): unos contienen silicio eutéctico como el que rodea a los granos de fase α (eutéctico atrapado) y otros contienen un eutéctico mucho más fino (eutéctico ocluido), tal y como se ve en las micrografías SEM de las Figs. 5.56 y en la parte izquierda de la Fig. 5.57. En la parte derecha de esta micrografía se aprecia el silicio que rodea a los granos α y puede observarse la diferencia de tamaño entre ambos tipos de silicio.

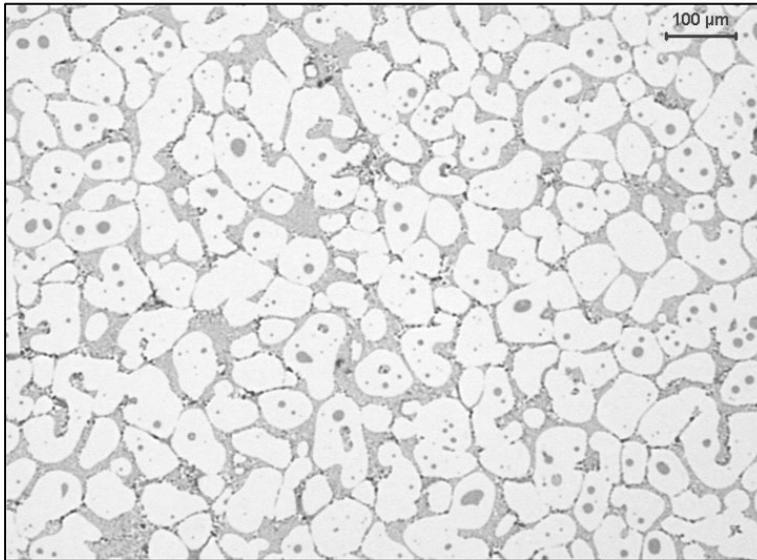


Figura 5.54. Micrografía del lingote recalentado.

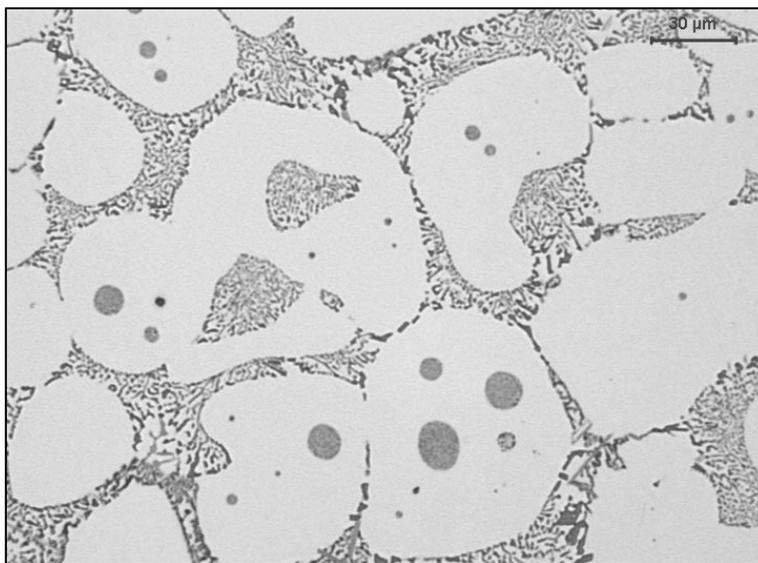


Figura 5.55. Micrografía del lingote recalentado, con esferoides de eutéctico en el interior de la fase α .

Se han realizado análisis, mediante EDS, de estos esferoides de eutéctico ocluidos y se ha encontrado que algunos contienen hierro y magnesio en porcentajes del 0,8 y 1,2 % respectivamente. El análisis de la fase α proeutéctica da la misma proporción de 0,8 y 1,2 % de estos elementos.

En los esferoides de eutéctico más grueso y en el eutéctico que rodea a la fase α se ha detectado, mediante microscopía óptica, la presencia de abundantes compuestos intermetálicos (Figs. 5.58 a 5.61) de Mg_2Si , $AlFeSi$, $AlFeMgSi$ y de estroncio.

Al atacar las probetas con HF al 5% se hacen más visibles al microscopio óptico los compuestos de $AlSiFeMg$ que aparecen en forma de escritura china y color gris, la fase intermedia $AlSiFe$ con forma acicular y color gris claro y el compuesto Mg_2Si con forma de escritura china y de color oscuro [Met89].

También se ha observado abundante porosidad (macroporos), lo cual no aparecía en el lingote de Thixocasting.

El tamaño de las esferas de fase α aumenta progresivamente del núcleo al exterior (Figs. 5.62 a 5.64). También se observa que en el núcleo hay aglomeración de glóbulos de fase α (Fig. 5.62).

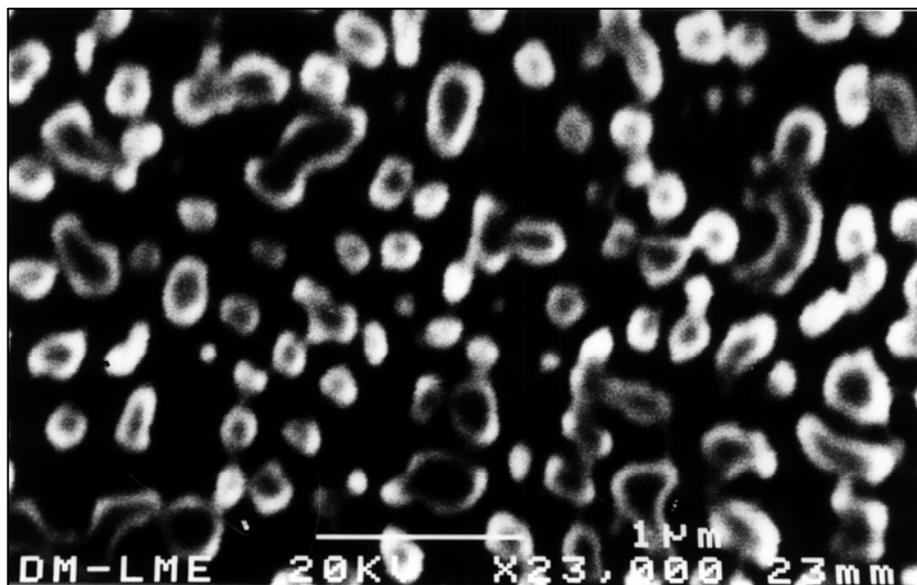


Figura 5.56. Micrografía SEM del eutéctico fino ocluido en la fase α .

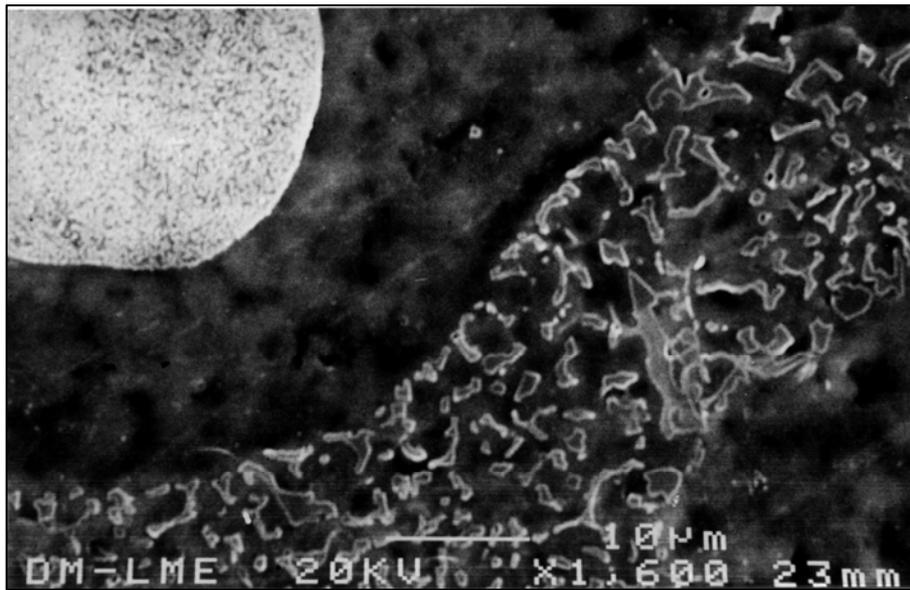


Figura 5.57. Micrografía SEM donde se pone de manifiesto el distinto tamaño de los dos eutécticos.

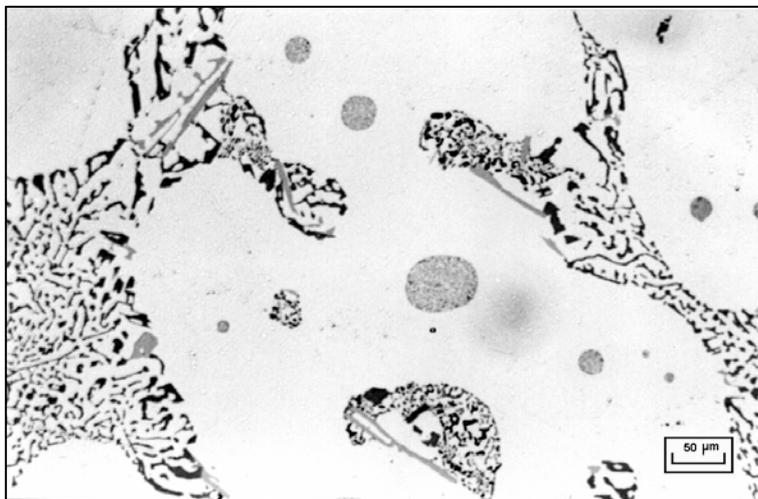


Figura 5.58. Intermetálicos en el eutéctico atrapado.

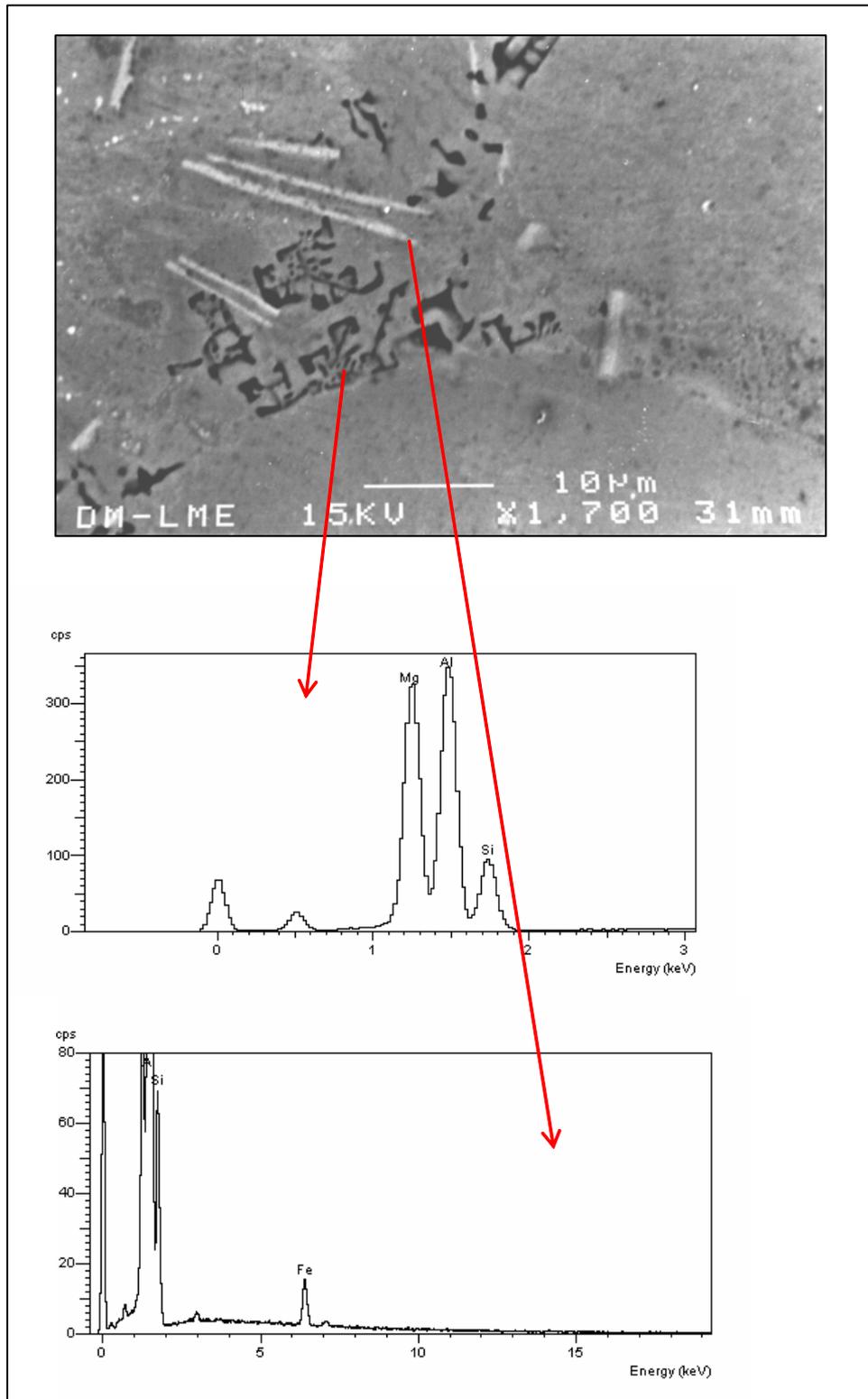
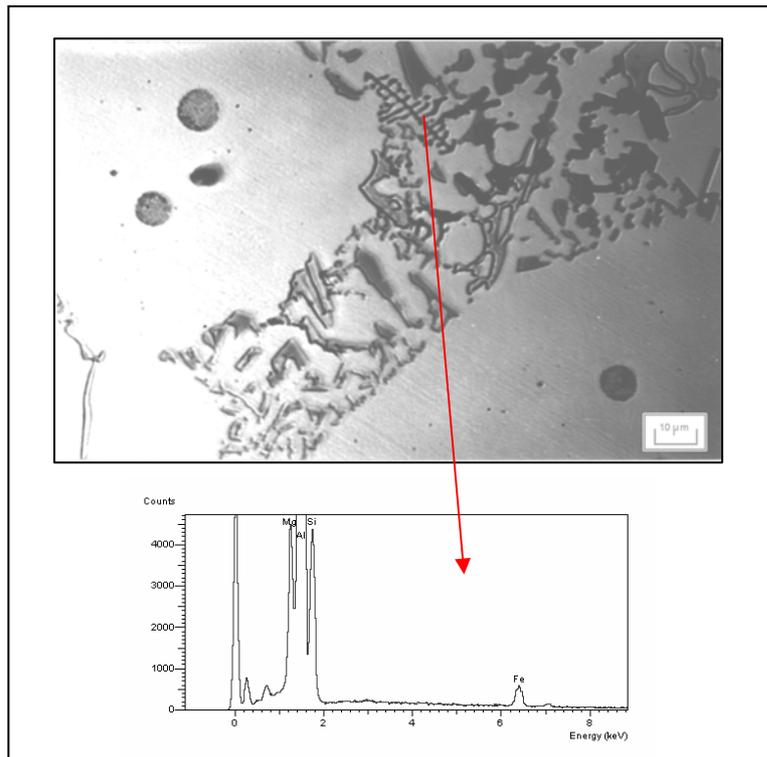


Figura 5. 59. Análisis EDS de algunos intermetálicos Mg_2Si y $AlFeSi$ detectados.



FFigura 5.60. Intermetálico de AlFeMgSi.

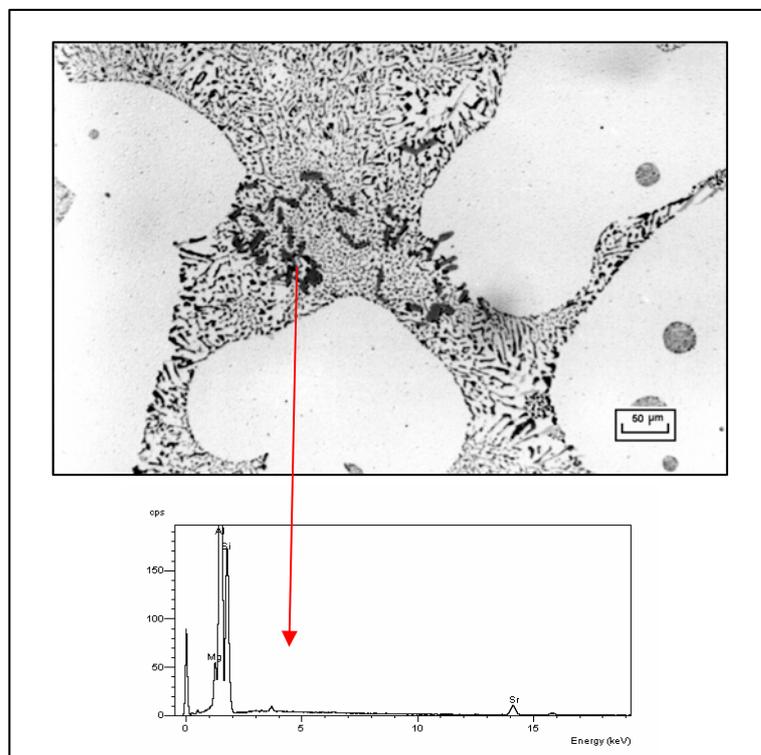


Figura 5. 61. Intermetálicos de estroncio