

6 OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CONFORMACIÓN POR THIXOCASTING

En el presente capítulo se lleva a cabo el estudio de los semicomponentes producidos por Thixocasting en la empresa italiana Stampal con objeto de optimizar las condiciones de conformación. Para ello se realiza la caracterización de los semicomponentes de aleación A357 producidos en distintas condiciones, y se optimizan los parámetros de conformación mediante programas de análisis estadístico. También se estudia el efecto de los tratamientos térmicos en semicomponentes, a escala de laboratorio, con tratamientos análogos a los realizados en el lingote de Rheocasting, y con tratamientos T5 y T6.

6.1 CONDICIONES DE CONFORMACIÓN

Para estudiar la influencia de los parámetros de conformación en la calidad de las piezas obtenidas, se diseñó un molde específico de pieza (Fig. 4.1) que contuviera partes críticas y se inyectaron piezas (desde ahora *semicomponentes*) en 18 condiciones distintas.

Estas partes críticas están señaladas en la Fig. 6.1 y son:

- paredes con espesores diferentes (mínimo 3 mm y máximo 8 mm)
- agujero en una de las caras de la pieza
- costillas con paredes de espesor delgado
- ángulos pequeños ($1^{\circ} 30'$)
- sección exterior delgada
- sección central de llenado.

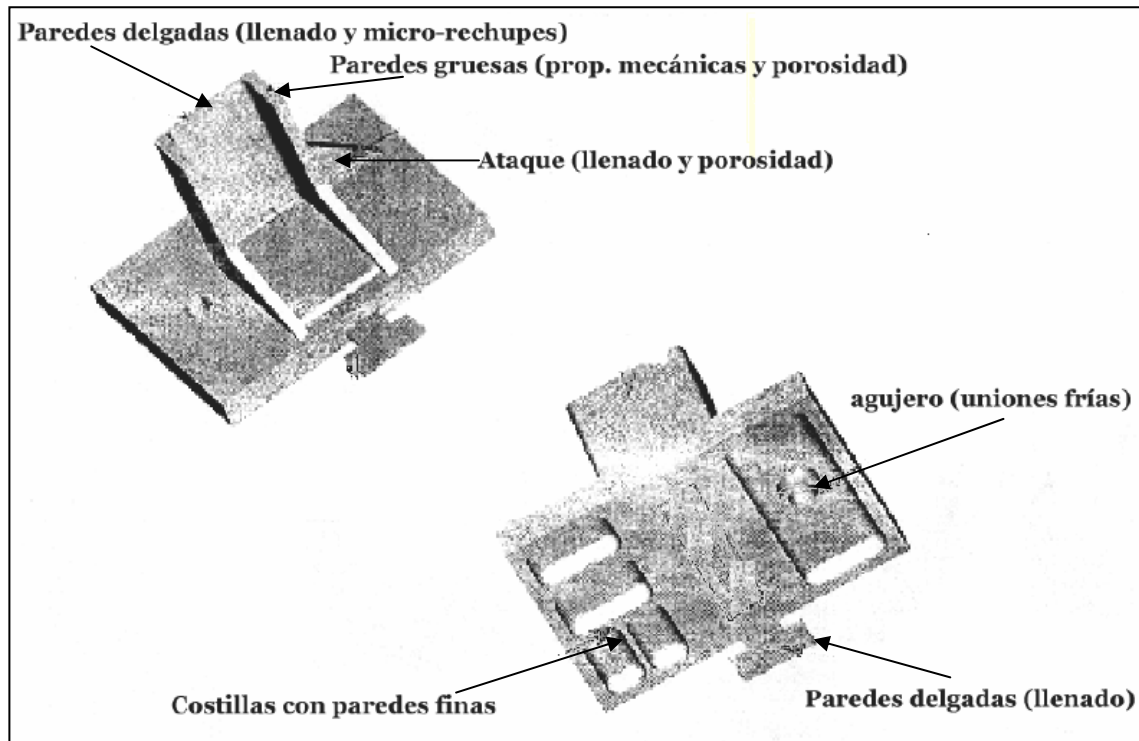


Figura 6.1. Semicomponente: representación de las zonas críticas.

En la Tabla 6.1 se describen los distintos parámetros de conformación utilizados, con objeto de estudiar qué influencia tiene cada uno de ellos en la calidad de las piezas y así poder determinar la mejor combinación de los mismos. Estos parámetros son la temperatura, la presión, la energía y el tipo de curva.

Los distintos tipos de curva de velocidad de inyección están representados en la Fig. 4.3 del Apartado 4. La diferencia entre ellas está en la última etapa (D1, D2, D3), donde el tramo final D1 corresponde al caso más lento y D3 al más rápido.

Tabla 6.1. Parámetros de inyección de los semicomponentes.

EXPERIMENTO N°	Temperatura (°C)	Energía (Wh)	Presión Final (Bar)	Tipo de curva
SIM1	150	420	400	D1
SIM2	150	420	700	D2
SIM3	150	450	1000	D3
SIM4	150	450	400	D1
SIM5	150	490	700	D2
SIM6	150	490	1000	D3
SIM7	180	420	400	D3
SIM8	180	420	700	D3
SIM9	180	450	1000	D2
SIM10	180	450	400	D2
SIM11	180	490	700	D1
SIM12	180	490	1000	D1
SIM13	210	420	1000	D2
SIM14	210	420	1000	D1
SIM15	210	450	700	D3
SIM16	210	450	700	D1
SIM17	210	490	400	D2
SIM18	210	490	400	D3

6.2 DEFECTOS DE CONFORMACIÓN

El estudio se ha realizado sobre una muestra de cada una de las 18 condiciones de conformación. El esquema de las distintas partes en las que se ha dividido el semicomponente para su estudio se describe en la Fig. 6.2.

La inspección visual ha puesto de manifiesto la presencia de defectos de porosidad y grietas en todas las piezas. Las zonas de color oscuro de la Fig. 6.3 corresponden a las superficies en las que se han detectado defectos por inspección visual.

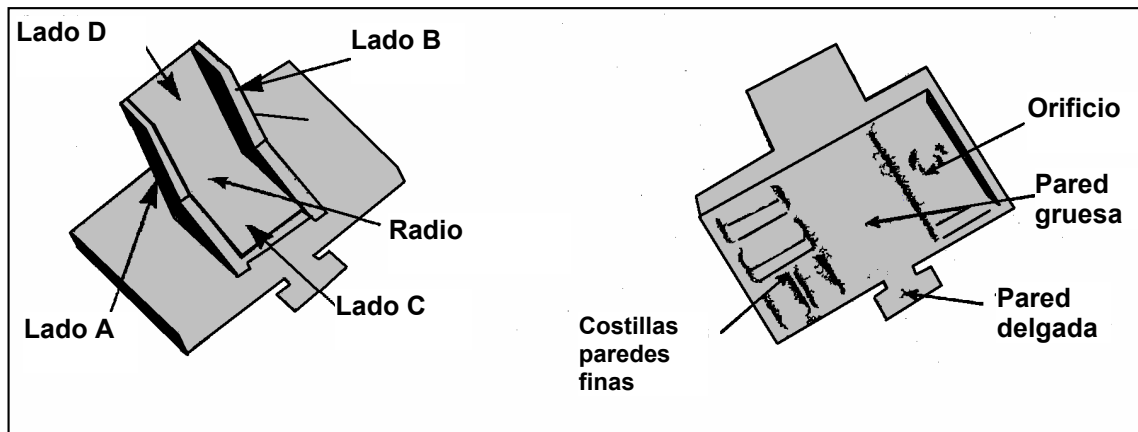


Figura 6.2. Descripción de las distintas zonas a estudiar.

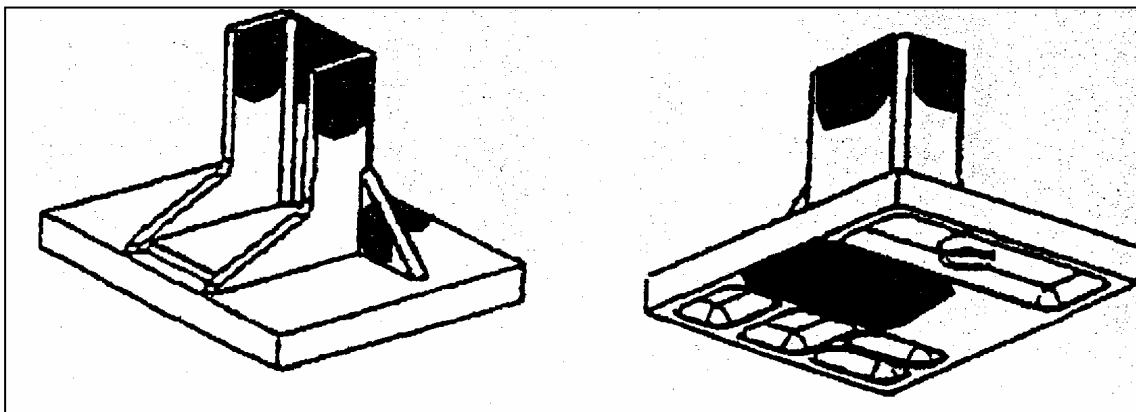


Figura 6.3. Dos vistas diferentes de los semicomponentes con las zonas defectuosas en color oscuro.

Así mismo, se procedió a estudiar las piezas mediante líquidos penetrantes y rayos X. En la Fig. 6.4 se muestran dos de los semicomponentes fotografiados, donde aparecen en color verde los defectos localizados mediante rayos X y en color rojo los

Semicomponentes conformados en estado semisólido

localizados mediante líquidos penetrantes. La designación de los defectos se ha hecho siguiendo la norma ASTM E52-49T y se han clasificado mediante la norma ASTM E155-60T, norma que asigna un índice mayor cuanto mayor es el defecto detectado por rayos X (máximo grado de severidad 8). Los defectos analizados han sido porosidad por micro-rechupes y por gas atrapado. El resultado de las partes estudiadas aparece en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Clasificación de los defectos detectados según ASTM E155-60T.

Nº muestra	Defecto	Lado C	Lado B	Lado A	Lado D
1	microrechupes	3	3	3	2
	gas atrapado	1	4	-	2
2	microrechupes	1	-	-	-
	gas atrapado	-	-	-	2
3	microrechupes	2	-	-	1
	gas atrapado	-	1	-	1
4	microrechupes	0	3	3	-
	gas atrapado	6	2	-	8
5	microrechupes	1	2	1	-
	gas atrapado	-	2	2	7
6	microrechupes	1	1	-	-
	gas atrapado	-	-	-	6
7	microrechupes	2	1	1	0
	gas atrapado	2	3	-	5
8	microrechupes	1	-	-	1
	gas atrapado	1	-	-	7
9	microrechupes	2	2	-	-
	gas atrapado	-	3	-	-
10	microrechupes	1	-	1	-
	gas atrapado	-	-	-	4
11	microrechupes	0	6	3	0
	gas atrapado	2	-	4	4
12	microrechupes	1	3	0	-
	gas atrapado	-	-	-	5
13	microrechupes	3	-	-	-
	gas atrapado	2	-	-	-
14	microrechupes	1	-	-	-
	gas atrapado	-	-	-	2
15	microrechupes	2	1	-	2
	gas atrapado	2	-	-	7
16	microrechupes	1	-	-	-
	gas atrapado	1	-	-	4
17	microrechupes	2	3	2	-
	gas atrapado	3	-	-	5
18	microrechupes	2	3	2	3
	gas atrapado	9	-	-	2

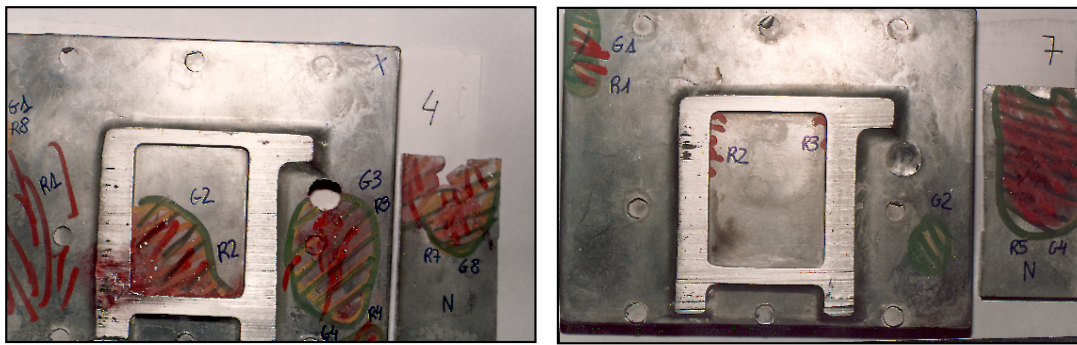


Figura 6.4. Semicomponentes nº 4 y 7 mostrando los defectos detectados.

6.3 ANÁLISIS METALOGRÁFICO

Los semicomponentes han sido caracterizados metalográficamente mediante microscopía óptica. Inicialmente se procedió a clasificar muestras procedentes de las distintas caras, A, B, C y D, pero al no detectarse diferencias importantes en la microestructura, se limitó al estudio estadístico de la cara C.

La microestructura obtenida en todos los semicomponentes es la misma que la obtenida en el lingote recalentado, tal y como podemos ver en la Fig. 6.5.

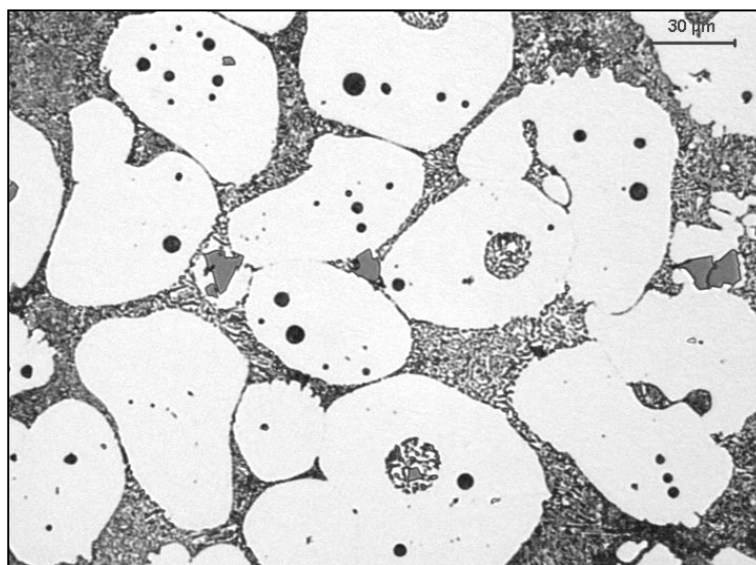


Figura 6.5. Microestructura de un semicomponente.

En el análisis metalográfico se observa lo siguiente:

- En las regiones con poros, los granos de α no están rodeados de eutéctico.
- El eutéctico ocluido en la fase α es de dos tamaños: hay esferoides con eutéctico ocluido, muy fino (Fig. 6.6), similar al del lingote y también hay eutéctico atrapado del mismo tamaño que el que rodea a la fase α .
- El tamaño del eutéctico que rodea los granos de fase α cambia bastante dentro de la misma muestra pero siempre es de mayor tamaño que el ocluido en α .
- El silicio primario aparece en casi todas las muestras (Fig. 6.7), y en algunos casos alcanza un tamaño considerable. Si el eutéctico que rodea la fase α es fino, el silicio primario no se observa o es muy pequeño.
- Los resultados experimentales no permiten establecer una relación entre la cantidad, tamaño y distribución de partículas y poros, y los parámetros de conformación.

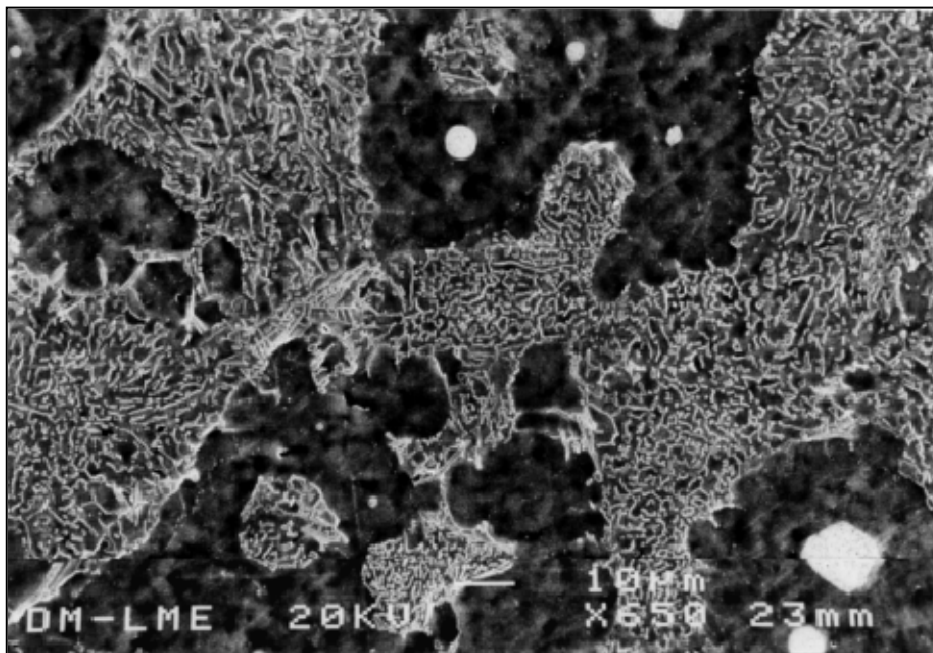


Figura 6.6. Micrografía SEM mostrando los distintos tamaños de silicio eutéctico.

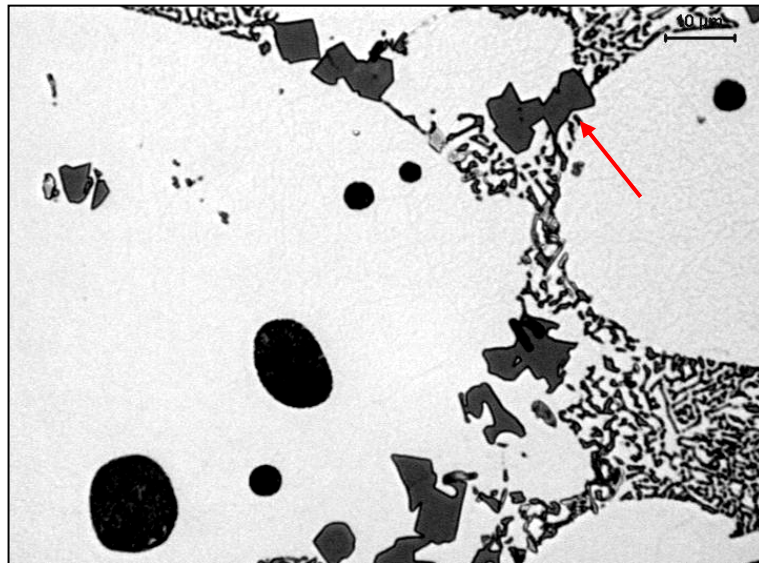


Figura 6.7. Silicio primario.

Mediante microscopía óptica y electrónica se han detectado compuestos intermetálicos de Mg_2Si , $\beta-AlFeSi$ y $\pi-AlFeMgSi$ (Fig. 6.8), al igual que en el lingote recalentado. El análisis se ha realizado mediante EDX (Fig. 6.9). Las agujas de $\beta-AlFeSi$ tienen mayor tamaño que las detectadas en el lingote.

También se han detectado (Fig. 6.10a) en alguna muestra compuestos de estroncio, poco abundantes y localizados fundamentalmente en el borde de los poros (Fig. 6.10b). En la micrografía de la Fig. 6.11 obtenida mediante electrones retrodispersados, se aprecia un detalle de estos compuestos, en los que se ha detectado un núcleo de calcio, más claro, asociado al estroncio tal y como se deduce de los análisis mediante EDS que se muestran en la Fig. 6.11.

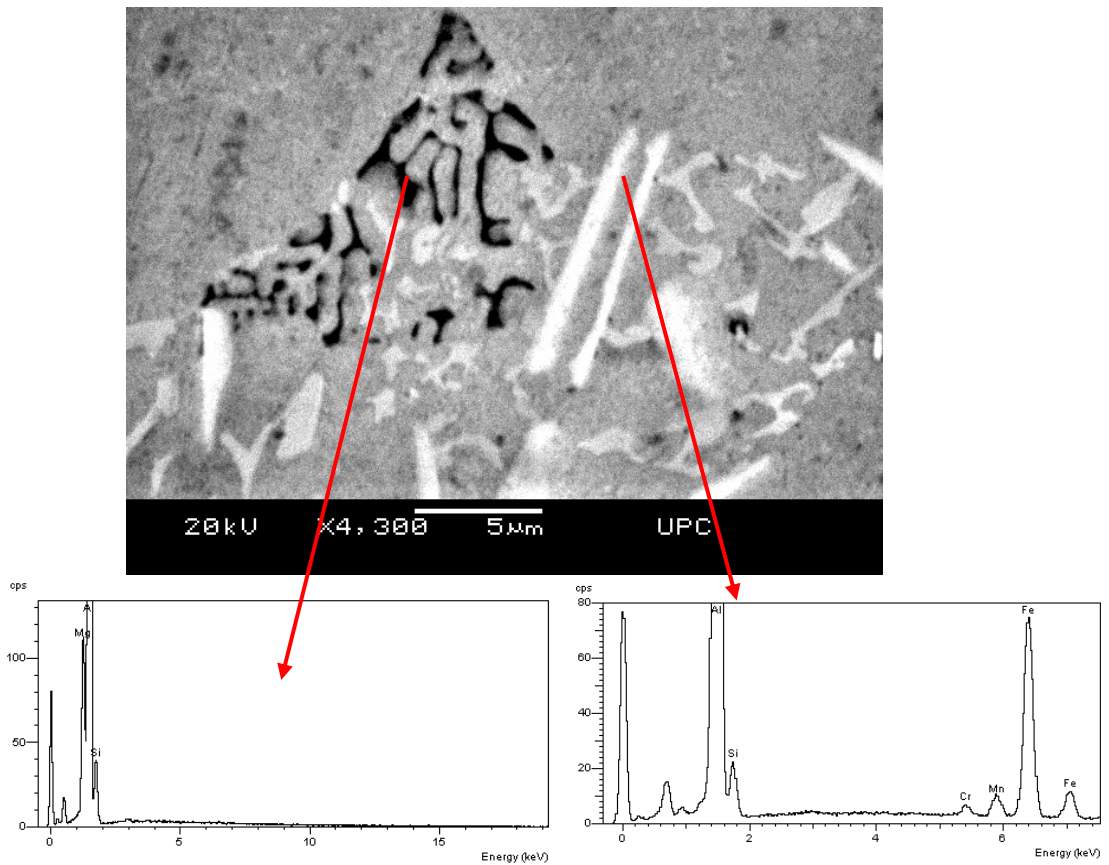


Figura 6.8. Análisis EDS de los compuestos intermetálicos Mg_2Si y $\beta-AlFeSi$

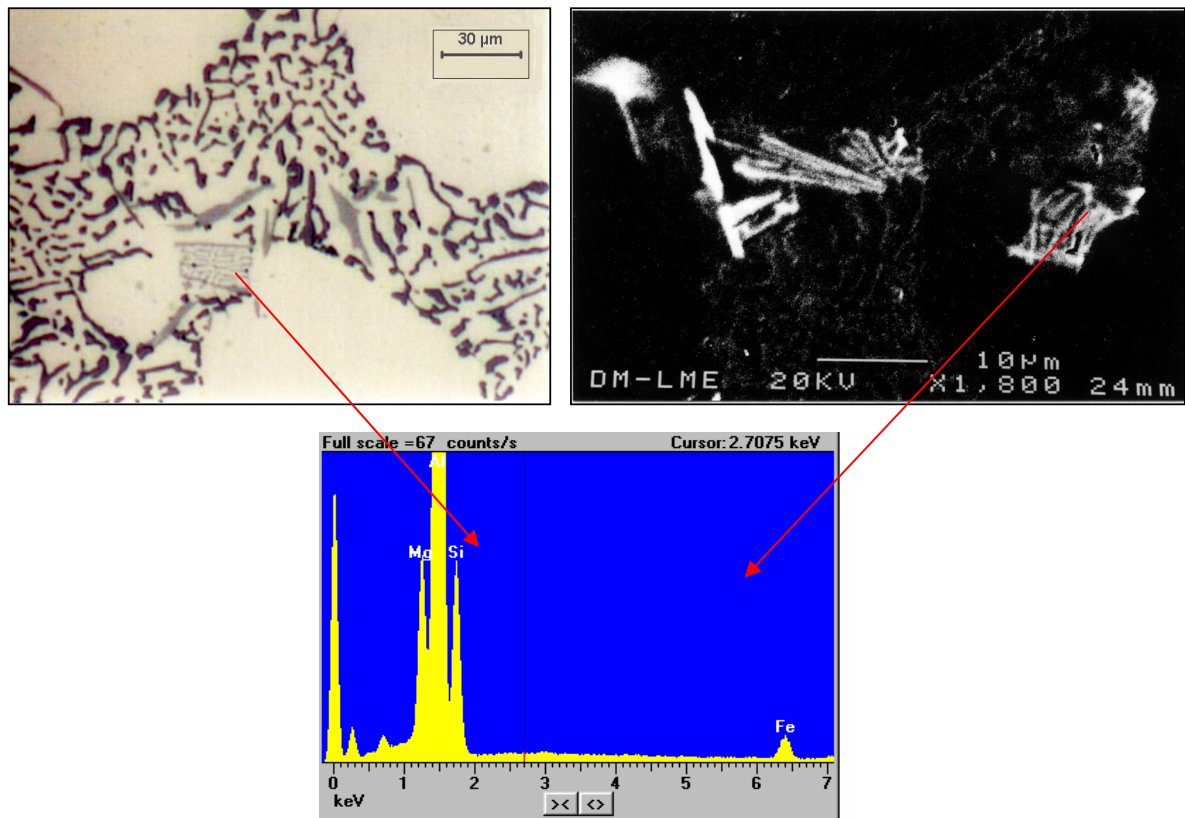
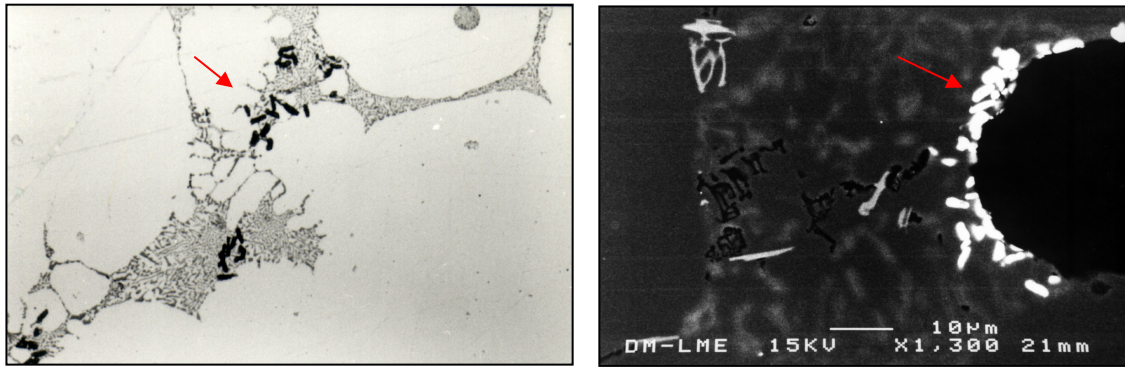


Figura 6.9. Análisis EDS del compuesto intermetálico $\pi-AlFeMgSi$



a)

b)

Figura 6.10. Compuestos de Sr detectados mediante a) microscopía óptica y b) SEM.

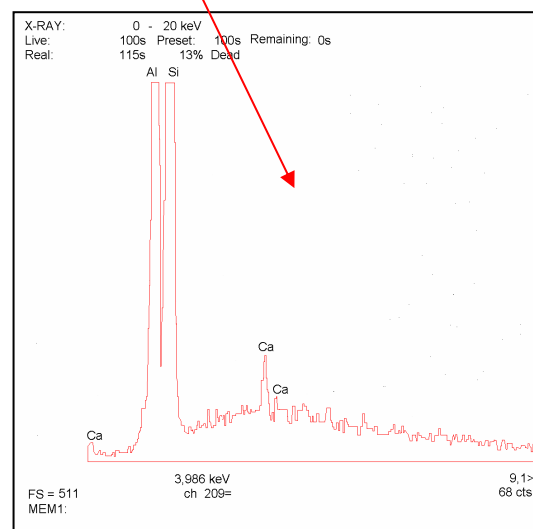
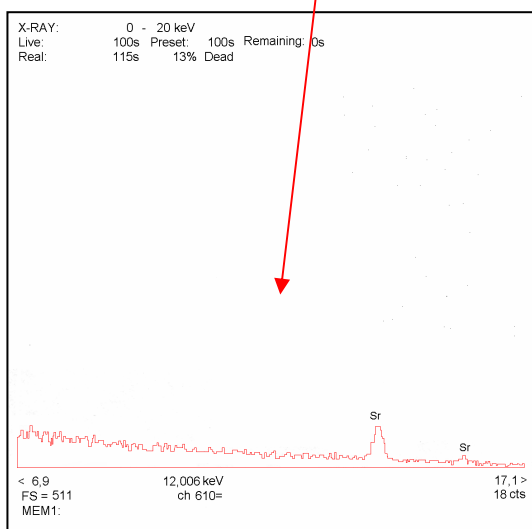
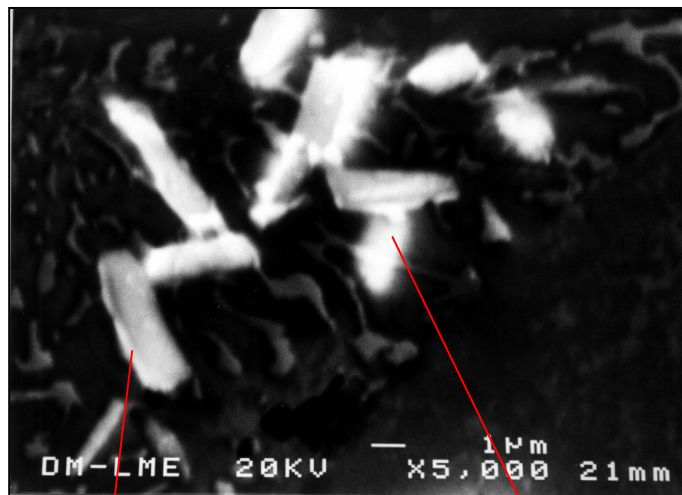


Figura 6.11. Compuestos de estroncio y espectro correspondiente, donde se analiza el interior, más claro, y que corresponde al calcio.