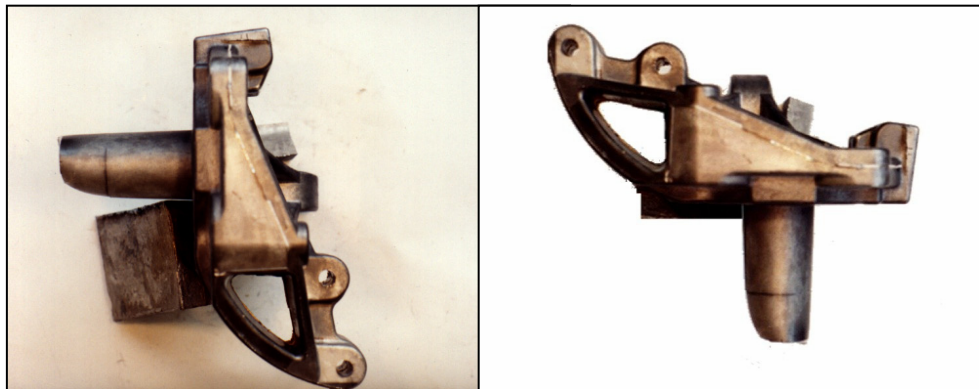


## 7.2 COMPONENTE DE AUTOMÓVIL

Se ha estudiado la rótula de dirección de FIAT (Figs. 7.12 y 7.13) conformada con la aleación A357 por Thixocasting y a la que se le ha realizado un tratamiento T5. En la Fig. 7.14 se muestra la disposición de este componente en un automóvil.

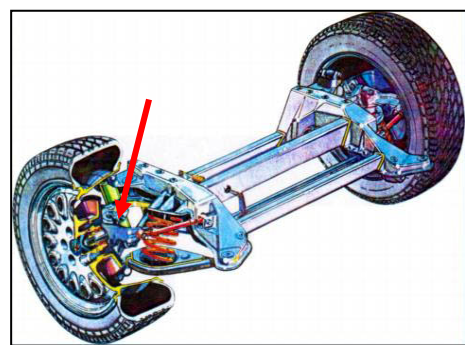
Las condiciones de conformación son las que aparecen en la Tabla 7.6. Esta rótula se fabrica tradicionalmente con fundición férrica. La conformación con aluminio por Thixocasting ha posibilitado una disminución del peso del componente de 2,90 Kg a 1,70 Kg.



**Figura 7.12.** Rótula de dirección de automóvil de aleación A357, conformada por Thixocasting.



**Figura 7.13.** Rótula de dirección de automóvil de aleación A357, conformada por Thixocasting.



**Figura 7.14.** Situación de la rótula de dirección en un automóvil [www3].

**Tabla 7.6.** Condiciones de conformación.

<b>Parámetros de inyección</b>		
Descripción	Valor	Unidades
Diámetro bomba	110	mm
Longitud cámara de inyección	722	mm
Sección lingote	1200	mm <sup>2</sup>
Temperatura ( Plato móvil)	210	°C
Temperatura ( Plato fijo)	220	°C
Diámetro lingote	101	mm
Longitud lingote	230	mm
Lubricante molde	Isolat TT 6920	
Concentración	2,50%	
<b>Curva inyección</b>		
Recorrido /mm	Velocidad / m/s	Presión final / bar
220	2,5	1000
450	2,5	
490	0,6	
531	0,6	
580	0,5	
625	1	
660	1,2	
680	1,5	
Tratamiento térmico T5: 6 h a 170 °C		

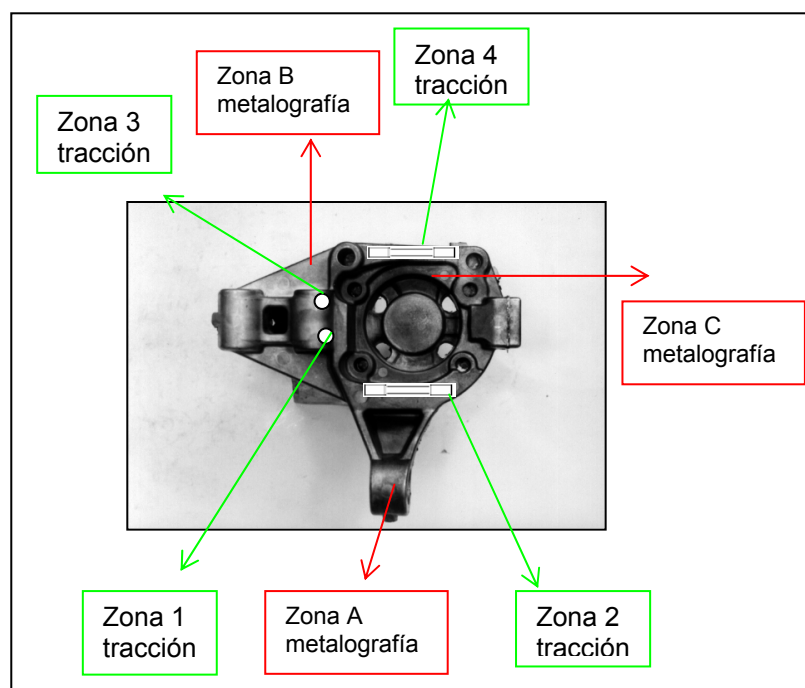
### 7.2.1 Análisis microestructural

Para evaluar estas piezas se procedió en primer lugar a un ensayo no destructivo de análisis de rayos X, detectándose una ligera porosidad en las zonas masivas. A continuación se realizó el examen mediante microscopía óptica de las diferentes regiones seleccionadas, marcadas en rojo en la Fig. 7.15.

El estudio microestructural de la zona A (Figs. 7.16 y 7.17) muestra un silicio eutéctico muy fino en torno a los granos globulares de fase  $\alpha$  y pequeños esferoides de eutéctico en el interior de  $\alpha$ . Se detectan también compuestos intermetálicos, de pequeño tamaño en el área interdendrítica.

En la zona B (Figs. 7.18 y 7.19) la estructura eutéctica es más fina que la de la zona A y también se detecta una mayor cantidad de fase  $\alpha$  en forma de pequeñas dendritas. También pueden observarse compuestos intermetálicos y cristales de silicio de estructura facetada de pequeño tamaño.

En la zona C (Figs. 7.20 y 7.21) el silicio eutéctico tiene mayor tamaño que en las dos zonas anteriores A y B. También hay una mayor proporción de compuestos intermetálicos y menos cristales de silicio pero heterogéneamente agrupados.



**Figura 7.15.** Zona de obtención de probetas de metalografía y de tracción.

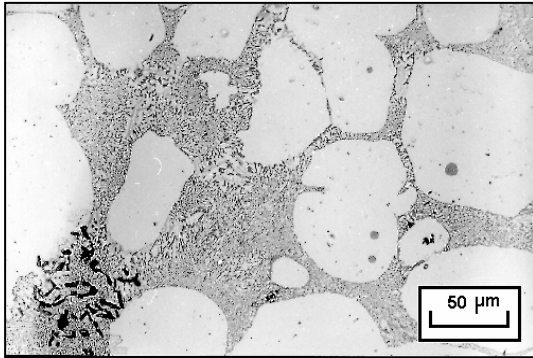


Figura 7.16. Rótula A357 T5 zona A.

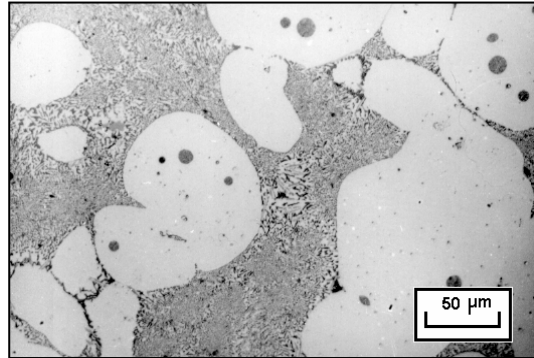


Figura 7.17. Rótula A357 T5 zona A.

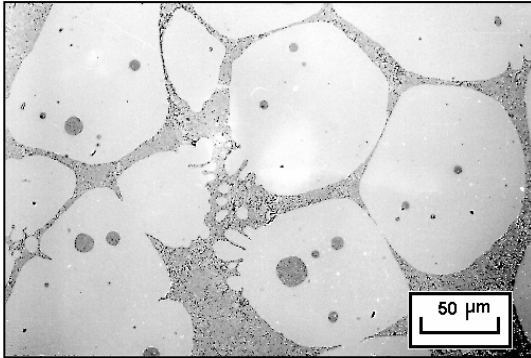


Figura 7.18. Rótula A357 T5 zona B.

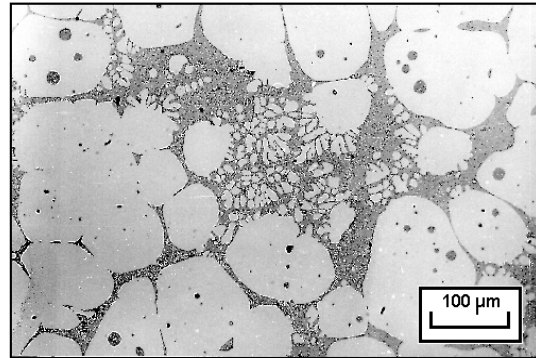


Figura 7.19. Rótula A357 T5 zona B.

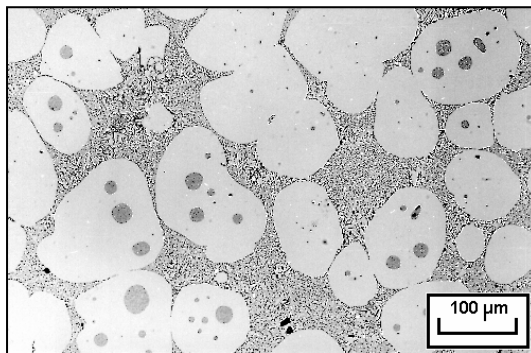


Figura 7.20. Rótula A357 T5 zona C.

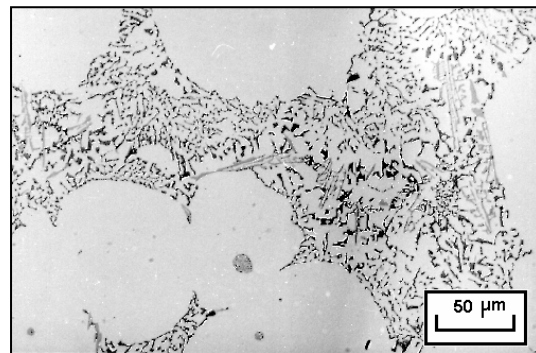


Figura 7.21. Rótula A357 T5 zona C.

## 7.2.2 Ensayos de tracción y dureza

Los ensayos de tracción se realizaron con muestras seleccionadas (Fig. 7.15) del componente de automóvil con tratamiento T5. Las dimensiones de las probetas están descritas en la Fig. 4.13.

Los resultados de los ensayos de tracción se muestran en la Tabla 7.7. Solamente las probetas de la zona 2 y 4 dan buenos resultados. Las probetas de la zona 1 dan unos resultados un poco bajos, mientras que los de la zona 3 son malos (en esta zona se detectó porosidad por rayos X).

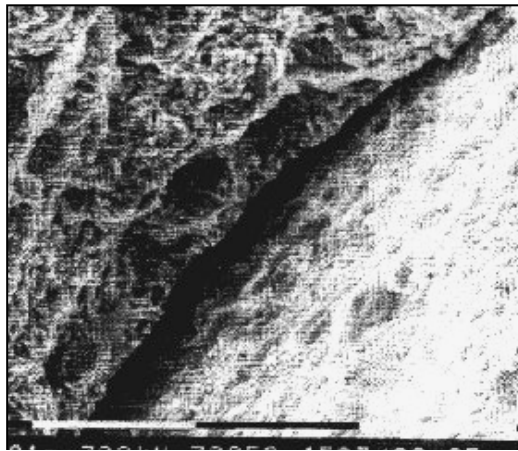
**Tabla 7.7.** Resultados de los ensayos de tracción.

<b>Zona 1</b>			
<b>Nº Muestra</b>	<b>Rp<sub>0.2%</sub> /MPa</b>	<b>Rm / MPa</b>	<b>A /%</b>
1	192	194	0,3
2	207	252	2,2
$\bar{X}$	199	223	1,3
s	10,6	41	1,3
<b>Zona 2</b>			
<b>Nº Muestra</b>	<b>Rp<sub>0.2%</sub> /MPa</b>	<b>Rm / MPa</b>	<b>A /%</b>
1	191	271	7,5
2	182	273	9,4
$\bar{X}$	186	272	8,5
s	6,4	1,4	1,3
<b>Zona 3</b>			
<b>Nº Muestra</b>	<b>Rp<sub>0.2%</sub> /MPa</b>	<b>Rm / MPa</b>	<b>A /%</b>
1	-	178	0,6
2	-	200	0,3
$\bar{X}$	-	189	0,5
s	-	15,6	0,2
<b>Zona 4</b>			
<b>Nº Muestra</b>	<b>Rp<sub>0.2%</sub> /MPa</b>	<b>Rm / MPa</b>	<b>A /%</b>
1	179	266	9,4
2	175	267	4,7
$\bar{X}$	177	266	7,1
s	2,8	0,7	3,3

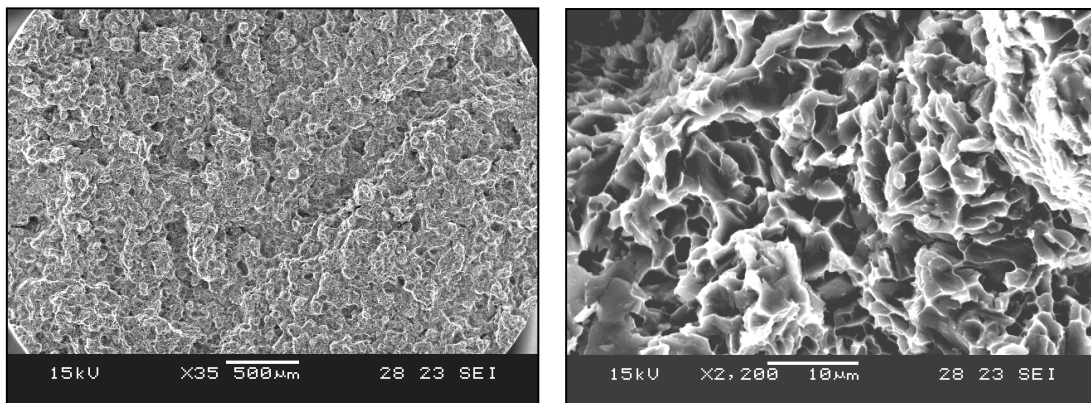
## Componentes finales

Se realizó un ensayo en banco de pruebas en la empresa Fiat, y se encontraron algunas piezas con zonas de gota fría, especialmente en la zona A de la Fig. 7.15. La fractura de este ensayo se muestra en la Fig. 7.22.

En las probetas de la zona 3, que han dado valores bajos de elongación y resistencia, el examen de la superficie de fractura parece indicar que el mecanismo de fractura se debe a la formación de una gota fría (Fig. 7.22). Las demás probetas exhiben fractura dúctil (Fig. 7.23).



**Figura 7.22.** Fractura con una zona de gota fría correspondiente a un ensayo en banco de pruebas.



**Figura 7.23.** Fractografías de la probeta de tracción nº1 de la zona 2, mostrando una fractura dúctil, con microcavidades elípticas de la zona de cizalladura, en los labios de la zona externa de la probeta.

Los ensayos de dureza Brinell se describen en la Tabla 7.8, y son análogos a los obtenidos en la pletina de dirección con tratamiento T5 (Tabla 7.3).

**Tabla 7.8.** Resultados de los ensayos de dureza.

Valores	Dureza / HB
mínimo	82
máximo	89
media	85

## 7.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 7.3.1 Microestructura

El análisis microestructural de los componentes estudiados, pletina de dirección de motocicleta A357 T5 y T6 y rótula de dirección de automóvil A357 T5 no ha revelado diferencias significativas con los resultados de los semicomponentes tratados térmicamente.

En la pletina de dirección, la microestructura es más homogénea que en la rótula de dirección, debido posiblemente a una velocidad de enfriamiento similar en todas las zonas del componente, dada su geometría (Fig. 7.1). Se ha detectado porosidad en el componente con T6 (Fig. 7.5).

En el componente de automóvil hay zonas masivas y otras más delgadas, donde la velocidad de enfriamiento es mayor. Por ello, si analizamos la Fig. 7.15 se puede suponer que esta velocidad de enfriamiento sigue la siguiente secuencia:

$$\text{Zona C} < \text{Zona B} < \text{Zona A}$$

## Componentes finales

Esto justifica la presencia de silicio eutéctico de mayor tamaño y una mayor proporción de compuestos intermetálicos en la región C, que es la de enfriamiento más lento (Fig. 7.20 y Fig. 7.21).

Se han detectado los compuestos intermetálicos  $\beta$ -AlFeSi,  $\pi$ -AlFeMgSi y  $Mg_2Si$  en los componentes con T5 (Fig. 7.15 y 7.20). En el componente con T6 aparece únicamente el intermetálico  $\beta$ -AlFeSi (Fig. 7.6).

En el componente conformado por gravedad y con T6 se ha detectado un intermetálico cuya composición, forma y color coinciden con  $\alpha$ -AlFeMnSi (Fig.7.8 y 7.9) [Met89].

### 7.3.2 Propiedades mecánicas

Del análisis de los resultados obtenidos con los componentes descritos en la Tabla 7.9 se deduce que la pletina de dirección A357 T6 muestra mayor  $R_p$  y  $R_m$  que los dos componentes A357 T5, pero su alargamiento es muy bajo debido a la porosidad. Los dos componentes de motocicleta conformados por Thixocasting (A357 T5 y A357 T6) muestran mejores propiedades mecánicas y mayor alargamiento que el componente EN 43000 T6 obtenido por gravedad.

**Tabla 7.9.** Resumen de resultados de tracción de semicomponentes y componentes conformados por Thixocasting y por colada en coquilla en el caso de la pletina EN AC-43000 T6.

Pieza	Aleación	$R_p$ 0.2% /MPa	$R_m$ /MPa	A/%
Pletina de dirección	A357 T5	209	284	6,2
Rótula de dirección	A357 T5	182	273	9,4
Semicomponente	A357 T5	210	298	9,9
Pletina de dirección	A357 T6	292	330	2,7
Semicomponente	A357 T6	320	368	7,0
Pletina de dirección	EN AC-43000 T6	233	256	0,9

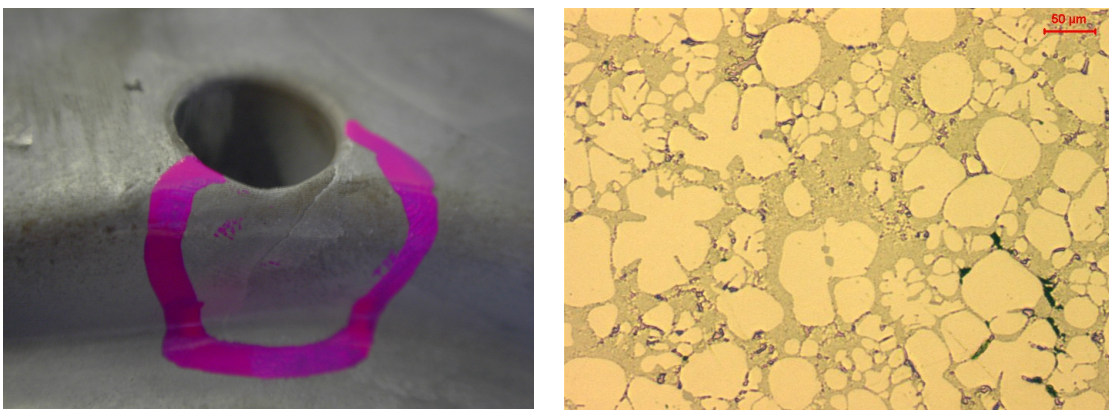


La variación en la velocidad de enfriamiento en la rótula de dirección comentada en el apartado anterior, justifica que las zonas de enfriamiento más rápido (zonas de tracción 2 y 4) tengan mejores resultados de tracción y alargamiento.

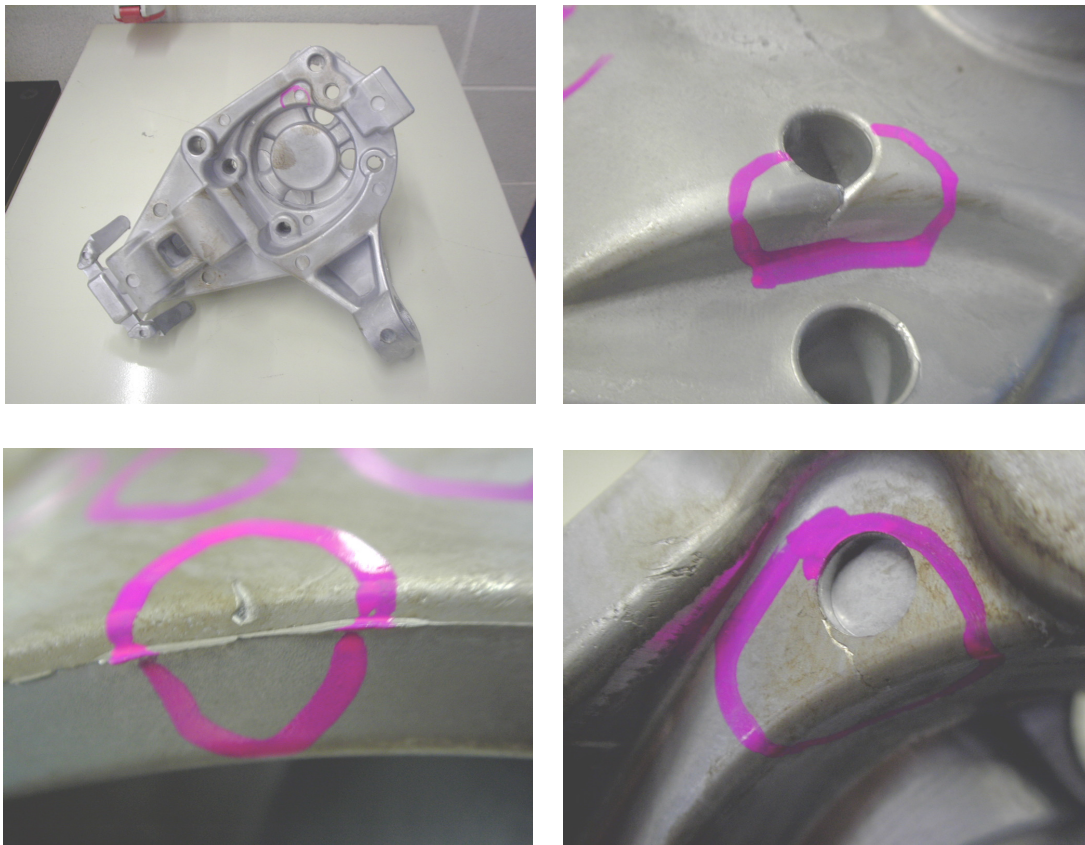
La pletina de dirección con tratamiento T5 tiene mejor resistencia a tracción que la rótula de dirección T5 porque en ésta es más difícil eliminar los defectos de fundición. Estos defectos son, principalmente, capas de óxido (pieles) y microporosidad. De hecho, se han detectado zonas con defectos de solidificación al estudiar la fractura de probetas con un valor de alargamiento muy bajo (Fig. 7.22).

Las propiedades mecánicas de los componentes finales han sido inferiores a las obtenidas en los semicomponentes. Esto se justifica por el hecho de que con estos últimos se han inyectado un gran número de piezas y se ha podido optimizar el proceso con mayores garantías.

Cuando se ha analizado el mismo componente de automóvil conformado por otras técnicas de conformación en estado semisólido, se han detectado también estos defectos de gota fría, como se muestra en las Figs. 7.24 y 7.25 correspondiente a componentes producidos por la técnica Sub Liquidus Casting.



**Figura 7.24.** Rótula de dirección conformada por SLC de una aleación A356 mostrando una zona de mala solidificación y la correspondiente microestructura.



**Figura 7.25.** Rótula de dirección conformada por SLC de una aleación A380 mostrando una zona de mala solidificación.

Los resultados de dureza HB en los diferentes componentes de Thixocasting son similares a los obtenidos en los semicomponentes, y coincidentes con la bibliografía [Ros00]. Así en la rótula de dirección A357 T5 oscilan entre 82 y 89 HB, en la bibliografía con unas condiciones de tratamiento análogas se da un valor de 89 HB, pero elongaciones menores, alrededor de un 7%, frente al 9% obtenido en este trabajo. Los valores más altos de dureza obtenidos con el tratamiento T6 se justifican por la completa redisolución de los precipitados de magnesio, lo que coincide con el hecho de que apenas se detectan compuestos intermetálicos de magnesio después de este tratamiento.

Se han realizado ensayos mecánicos de muestras conformadas por otras técnicas SSM y con aleaciones A356 y A357, como Sub-Liquidus-Casting y New Rheocasting [Forn04][Forn05], a partir de componentes suministrados por Stampal. Los resultados se muestran en negrita en la Tabla 7.10, donde se indican los mejores valores (en negrita) y los valores medios ( $\bar{X}$ ), junto a datos de la bibliografía.

Tabla 7.10. Comparación de resultados de tracción [Forn04] [Forn05].

Proceso	Aleación	Rp <sub>0,2%</sub> /MPa	Rm/MPa	A/%
<b>Thixocasting (semicomponente)</b>	A357 T5	<b>210</b> $\bar{X} \rightarrow 202$	<b>298</b> $\bar{X} \rightarrow 286$	<b>9,9</b> $\bar{X} \rightarrow 8,0$
<b>Thixocasting (rótula de dirección Fiat)</b>		<b>182</b>	<b>273</b>	<b>9,4</b>
Thixocasting [Jor02]		210	290	10
<b>New Rheocasting (Stampal)</b>		<b>220</b>	<b>285</b>	<b>8,0</b>
Molde Permanente [EN-1706]		210	290	6
<b>Thixocasting (semicomponente)</b>	A357 T6	<b>320</b> $\bar{X} \rightarrow 317$	<b>368</b> $\bar{X} \rightarrow 360$	<b>7,0</b> $\bar{X} \rightarrow 4,9$
<b>Thixocasting (pletina de dirección Derbi)</b>		<b>292</b>	<b>330</b>	<b>2,7</b>
Thixocasting [Jor02]		250	315	10
<b>New Rheocasting (Stampal)</b>		<b>310</b>	<b>360</b>	<b>6,9</b>
Squeeze Casting [Jor02]		250	330	8
Permanent Mould [Dav87]		248	317	3
<b>Thixocasting (semicomponente)</b>	A356 T6	<b>227</b> $\bar{X} \rightarrow 222$	<b>302</b> $X \rightarrow 294$	<b>16,9</b> $X \rightarrow 13,2$
Thixocasting [Nad99]		225	300	12
Thixocasting [Jor02]		240	315	12
<b>New Rheocasting (CDAL)</b>		<b>300</b> $\bar{X} \rightarrow 272$	<b>294</b> $\bar{X} \rightarrow 325$	<b>11,8</b> $\bar{X} \rightarrow 11,3$
SEED [Dou03 ]		255	318	8,7
Squeeze Casting [Luk02]		200	275	12
Molde Permanente [Yur04]		185	262	5
Permanente Mould[Nad99]		205	280	10
<b>SLC®-THT(rótula de dirección) CDAL</b>		$\bar{X} \rightarrow$ <b>310</b> 327	$\bar{X} \rightarrow$ <b>365</b> 390	$\bar{X} \rightarrow$ <b>8,2</b> 11,1
SLC®-THT (Jorstad)*		260	340	12
<b>SLC®-THT (rótula de dirección) CDAL</b>	A356	<b>79</b>	<b>152</b>	<b>12</b>
SLC®-THT (Jorstad*)		184	116	10

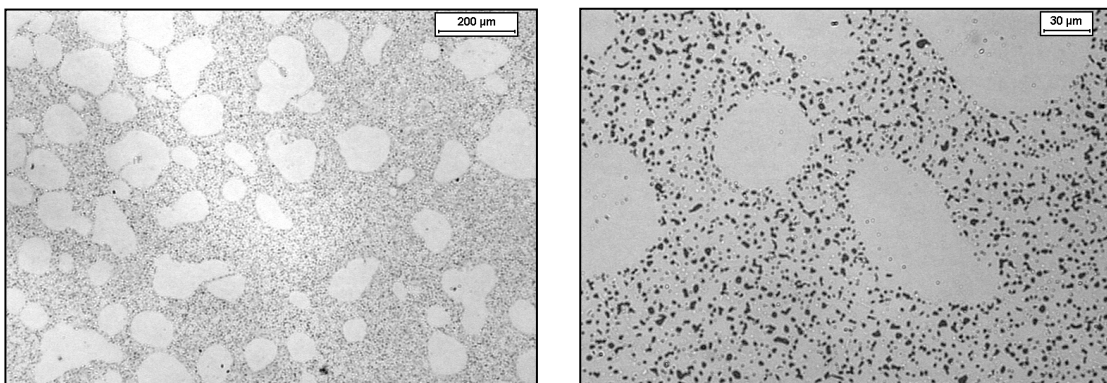
\* documento privado Marzo 05

## Componentes finales

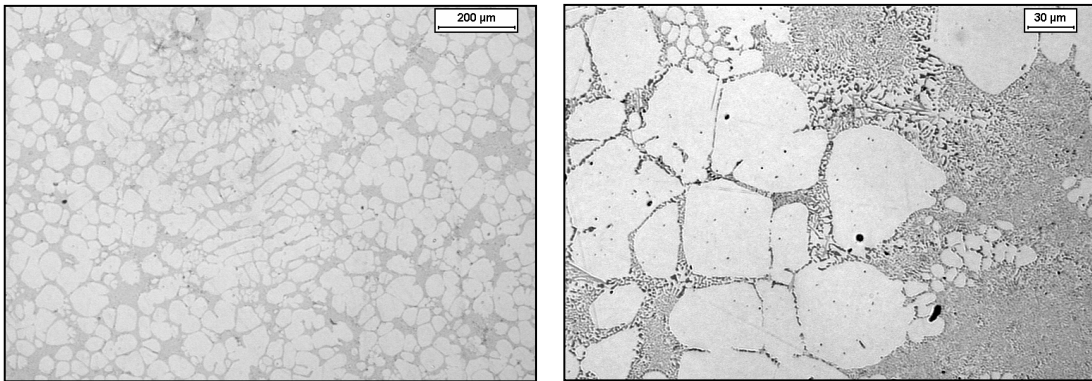
Como se deduce de los datos descritos en la Tabla 7.10, los mejores resultados de resistencia a tracción y ductilidad en la aleación A357 con tratamientos T5 y T6 se han obtenido en piezas conformadas por Thixocasting, y son muy superiores a los obtenidos en molde permanente.

Los resultados obtenidos para la aleación A356 con tratamiento T6 conformada por Thixocasting, New Rheocasting y Sub Liquidus Casting revelan que es esta última técnica la que da mejores resultados de resistencia a tracción. Los análisis metalográficos indican que los componentes obtenidos por Sub Liquidus Casting tienen el menor tamaño de glóbulos  $\alpha$ . Estos son algo mayores en el proceso de New Rheocasting y superiores en el Thixocasting (Figs. 7.26 y 7.27). Esto se justifica tanto por el diferente procesado del material a inyectar como por los aditivos utilizados (SiB y TiB) para facilitar la nucleación. En las estructuras obtenidas en los procesos SLC y NRC no se observa eutéctico ocluido o atrapado en el interior de los glóbulos  $\alpha$ , y el eutéctico que los rodea es mucho más fino, debido a que en estos casos no se utiliza lingote recalentado. En el proceso de NRC se produce un lingote en estado semisólido y se inyecta directamente. En el SLC lo que se inyecta es un lodo que solidifica en el molde.

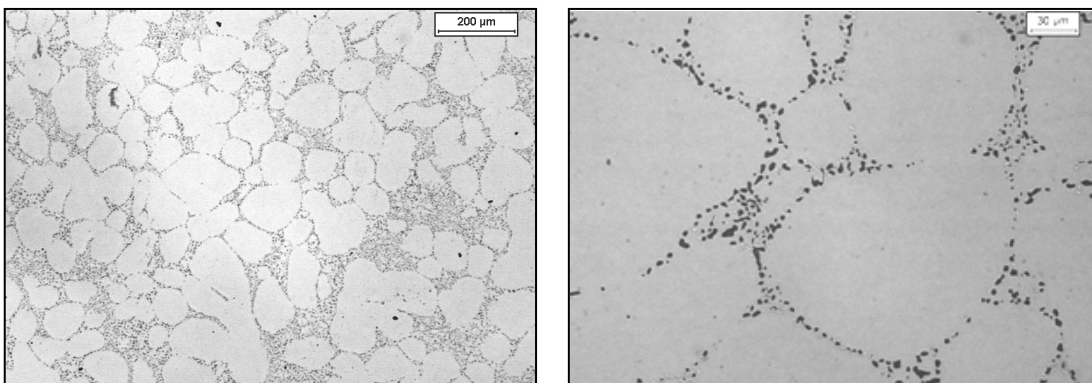
El efecto de los tratamientos térmicos, en el cambio en la morfología del silicio y de los intermetálicos, así como en el crecimiento de la fase  $\alpha$  es el mismo que en TC (Figs. 7.28 y 7.29).



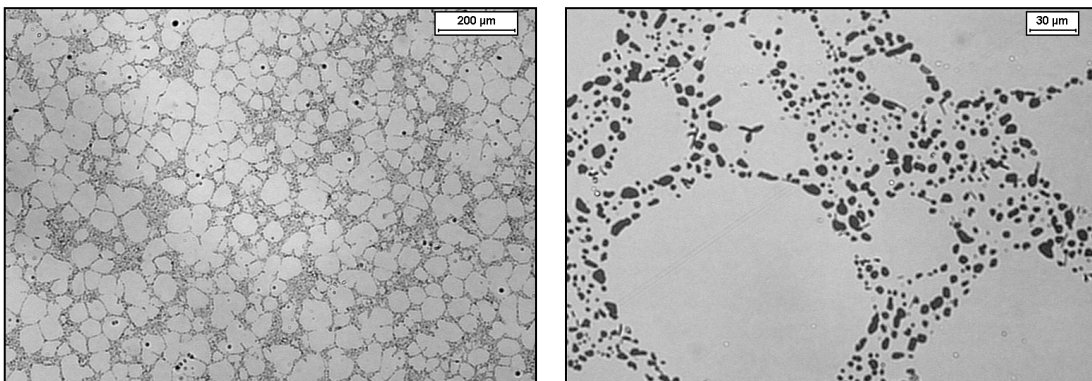
**Figura 7.26.** Microestructura de un componente A356 conformado por NRC.



**Figura 7.27.** Microestructura de un componente A356 conformado por SLC.



**Figura 7.28.** Microestructura de un componente A356 T6 conformado por NRC.

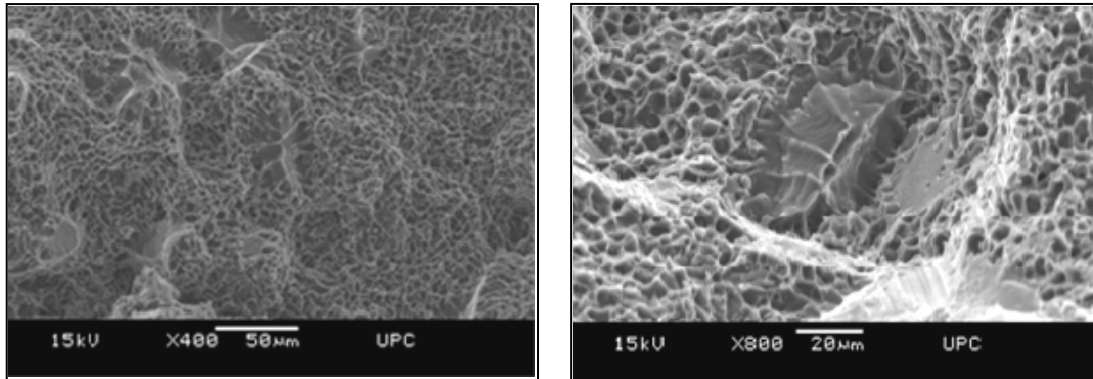


**Figura 7.29.** Microestructura de un componente A356 T6 conformado por SLC.

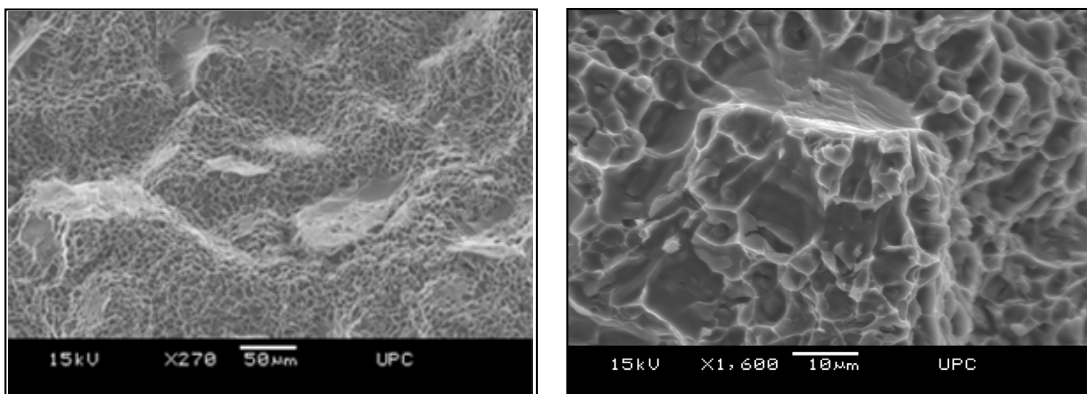
El análisis fractográfico de los componentes obtenidos por Thixocasting con tratamientos T5 y T6 (Figs. 7.10, 7.11 y 7.23) no presenta diferencias respecto a las fracturas de los semicomponentes comentadas en el Apartado 6.10.4.

## Componentes finales

En las Figs. 7.30 y 7.31 se muestran las fracturas de componentes obtenidos por NRC y SLC con tratamientos T6, en las que puede observarse una fractura dúctil como en los componentes TC.



**Figura 7.30.** Fractografía de un componente A356 T6 conformado por NRC.



**Figura 7.31.** Fractografía de un componente A356 T6 conformado por SLC.