

Figura 5.36. Periferia lingote de Rheocasting 5 minutos a 550 °C.

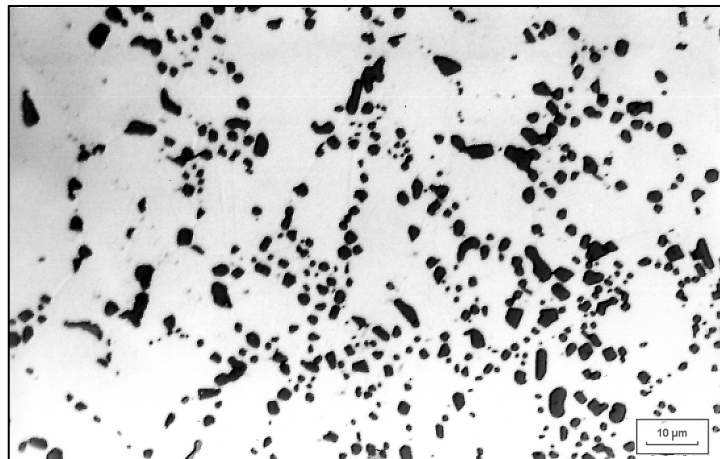


Figura 5.37. Periferia lingote de Rheocasting 1 h a 550 °C.

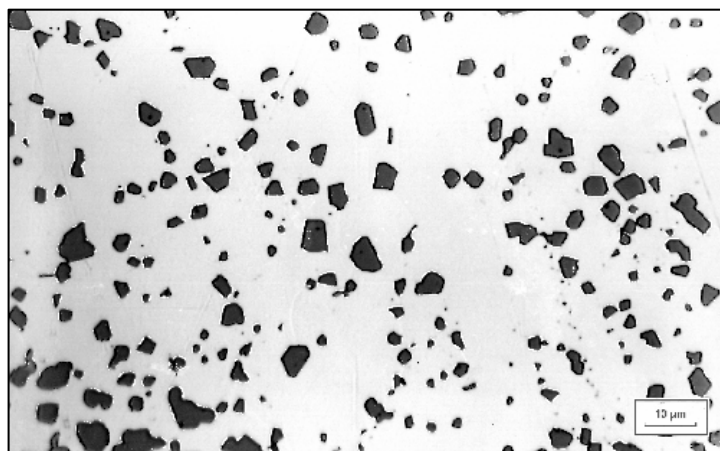


Figura 5.38. Periferia lingote de Rheocasting 24 h a 550 °C.

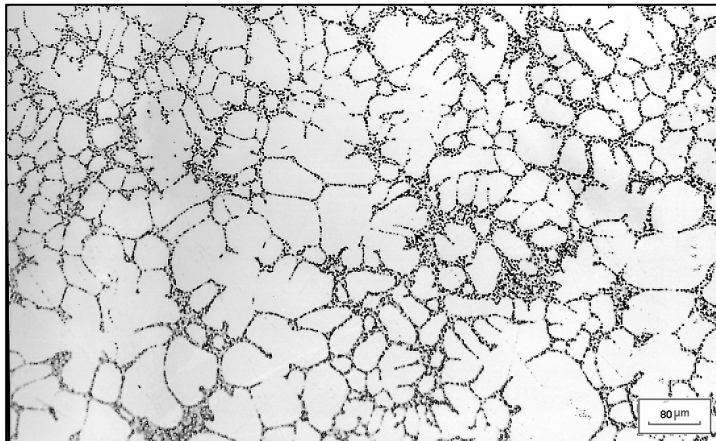


Figura 5.39. Núcleo lingote de Rheocasting 1 h a 500 °C.

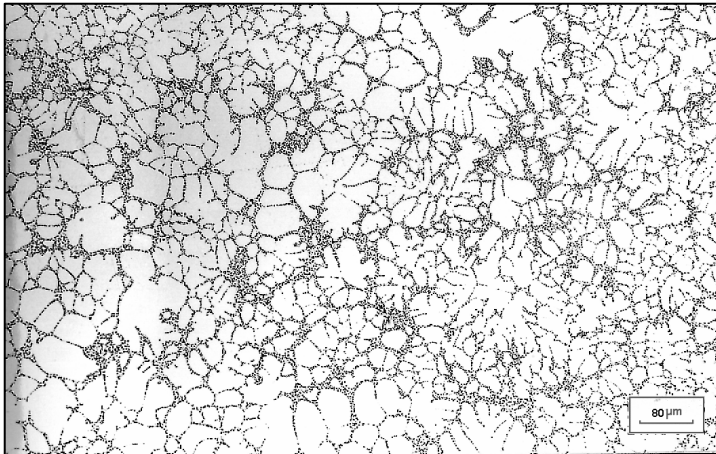


Figura 5.40. Zona intermedia lingote de Rheocasting 1 h a 500.°C.

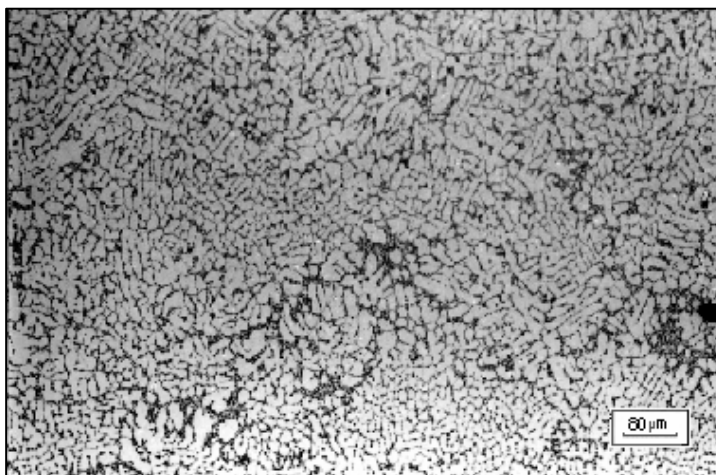


Figura 5.41 Periferia lingote de Rheocasting 1 h a 500 °C.

A continuación se describe la evolución de la fase α , el silicio eutéctico y los compuestos intermetálicos con el tratamiento térmico.

▪ **Fase α**

Con tiempos de tratamiento cortos se mantiene la delimitación de esferoides de fase α , alternándose tamaños grandes y pequeños, delimitados por los cristales de silicio eutéctico.

Al prolongar el tratamiento térmico se van desdibujando los límites de los esferoides α a medida que las partículas de silicio crecen, obteniéndose estructuras de esferoides α de tamaño mayor y más redondeados.

Si los tratamientos térmicos son muy prolongados y a temperaturas elevadas, la microestructura que se revela consiste en cristales de silicio distribuidos en una fase primaria continua. Este fenómeno se evidencia en todas las zonas. En realidad, puede decirse que el sistema evoluciona desde una microestructura inicial de matriz continua eutéctica, a una estructura final en la que la matriz continua es la fase α .

• **Silicio eutéctico**

El silicio eutéctico, muy fino en el material de partida, y con aspecto fibroso, crece y se redondea con la temperatura y el tiempo de tratamiento. Temperaturas y tiempos mayores suponen un incremento del tamaño del silicio eutéctico y una mayor esferoidización, pues unas partículas crecen a costa de otras.

La periferia es la zona donde los cristales de silicio alcanzan mayores tamaños con tratamientos a temperaturas bajas, mientras que a temperaturas altas es en la zona intermedia.

• **Compuestos intermetálicos**

Compuestos intermetálicos de AlFeSi se han encontrado únicamente en la piel y en el extremo exterior de la periferia. La morfología de estos compuestos intermetálicos depende de la temperatura y del tiempo de tratamiento: se fraccionan, se redondean y globulizan, y a temperaturas elevadas se disuelven en la fase primaria.

Lingote de Rheocasting

Con tratamientos de 1 hora, a todas las temperaturas, los cristales AlSiFe experimentan una fragmentación. La longitud de las agujas disminuye pero la forma varía muy poco (Figs. 5.42 y 5.43). A las 6 horas las partículas se redondean ligeramente pero su tamaño se mantiene, excepto a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ donde crecen ligeramente. A tiempos mayores de tratamiento a estas temperaturas, el tamaño se mantiene pero las partículas aparecen más redondeadas (Fig. 5.44).

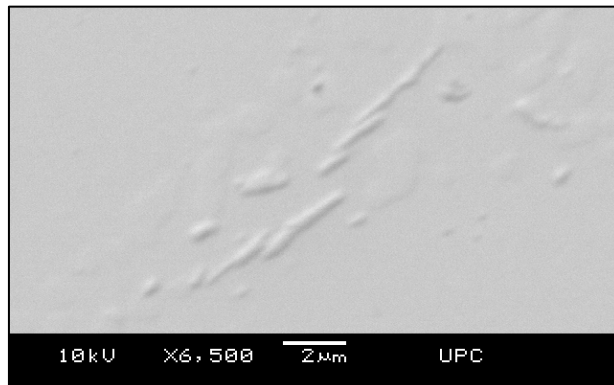


Figura 5.42. Evolución del compuesto AlFeSi 1 hora a $450\text{ }^{\circ}\text{C}$.

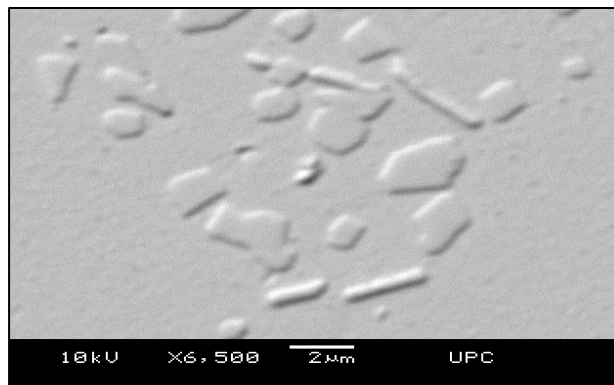


Figura 5.43. Evolución del compuesto AlFeSi 1 hora a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$.

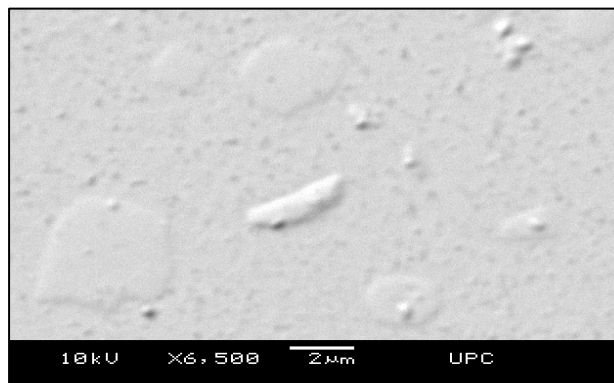


Figura 5.44. Evolución del compuesto AlFeSi 24 horas a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.3 EVOLUCIÓN DEL SILICIO EUTÉCTICO CON LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS. ANÁLISIS CUANTITATIVO

Se ha estudiado mediante técnicas de análisis de imagen, la evolución del silicio eutéctico con la temperatura y el tiempo, con la finalidad de evaluar el engrosamiento y esferoidización detectados en el análisis micrográfico, y establecer la cinética de crecimiento.

Para determinar el tamaño del silicio eutéctico inicial se ha tenido que recurrir a microscopía electrónica. El tamaño del silicio es del orden de $10^2 \mu\text{m}$.

En las Figs. 5.45 a 5.47 se detalla para cada temperatura de tratamiento la evolución cuantitativa del silicio eutéctico con el tiempo, en cada una de las 3 zonas estudiadas. Nótese que las gráficas de la Fig. 5.47 tienen en el eje de tiempo dos escalados distintos, dado que al ser la evolución del silicio a 550 °C muy rápida, se optó por estudiar la evolución a intervalos muy cortos en las primeras etapas de crecimiento: 5, 10, 15, 30, y 45 minutos, para continuar con 3, 6, 12 y 24 horas. Los datos numéricos se detallan en el Anexo, en las Tablas 1.1 a 1.9.

En las Figs. 5.48 y 5.49 se compara la evolución del cristal de silicio en el núcleo y en la periferia a las diferentes temperaturas. El aumento de tamaño del silicio es prácticamente el mismo en la zona intermedia y en el núcleo. Para temperaturas y tiempos de tratamiento de pocos minutos, el tamaño del silicio en la periferia es superior al del núcleo y de la zona intermedia. El tamaño del silicio es mayor cuanto mayor es la temperatura de tratamiento. A temperaturas de 450 y 500 °C el crecimiento del silicio es más rápido en la periferia y se estanca en el núcleo y en la zona intermedia después de 6 horas de tratamiento. Sin embargo, a 550 °C aunque inicialmente el crecimiento es más rápido en la periferia, se ve ampliamente superado por la zona intermedia en el intervalo de 3 a 6 horas (ver Fig. 5.47).

El valor del factor de forma se mantiene en torno a 0,7 en las 3 regiones a las distintas temperaturas de tratamiento. Todos los valores muestran que las partículas tienen formas esferoidales, varía su tamaño pero no su forma, al realizar el tratamiento térmico.

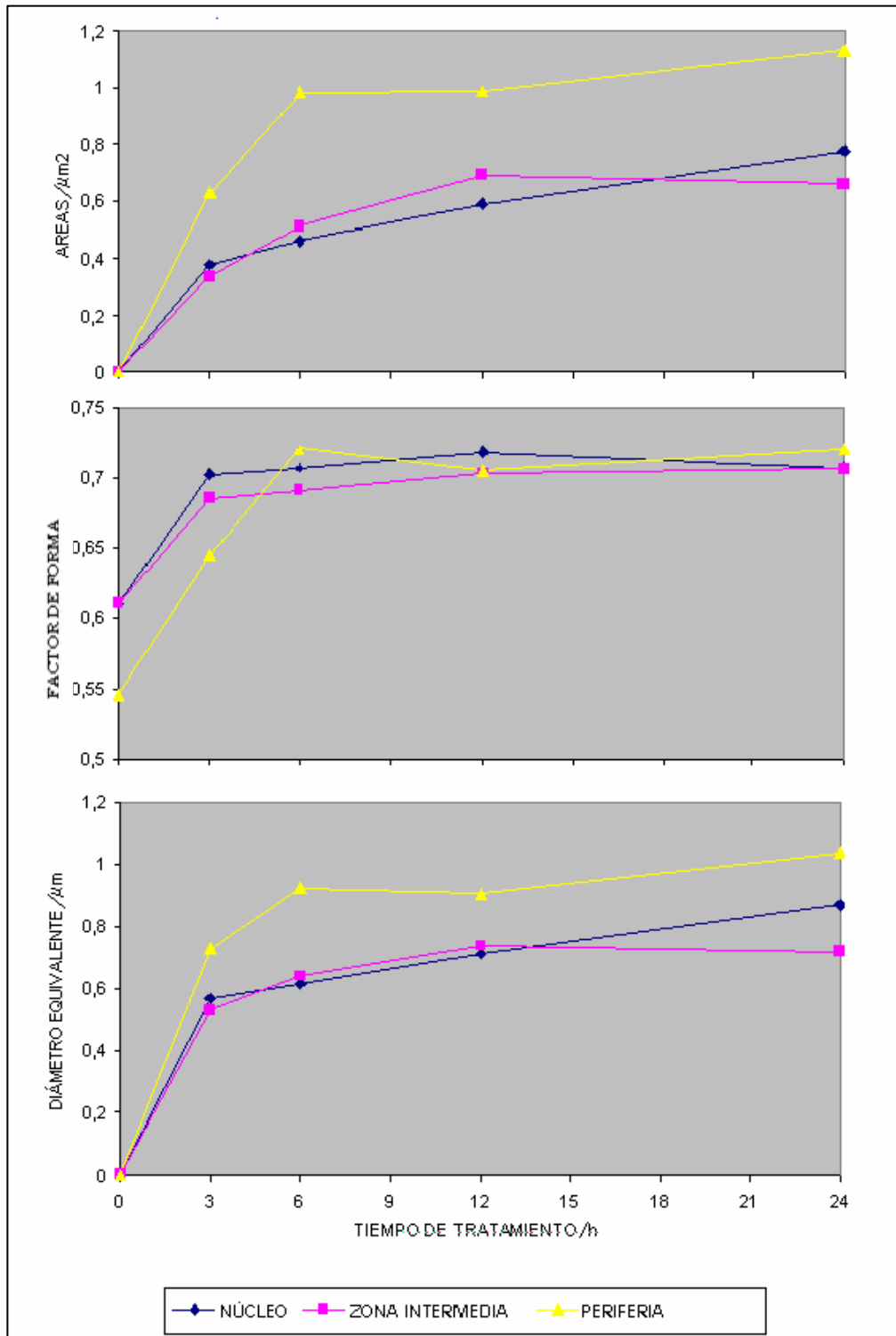


Figura 5.45. Evolución del silicio eutéctico en un lingote de Rheocasting a 450 °C.

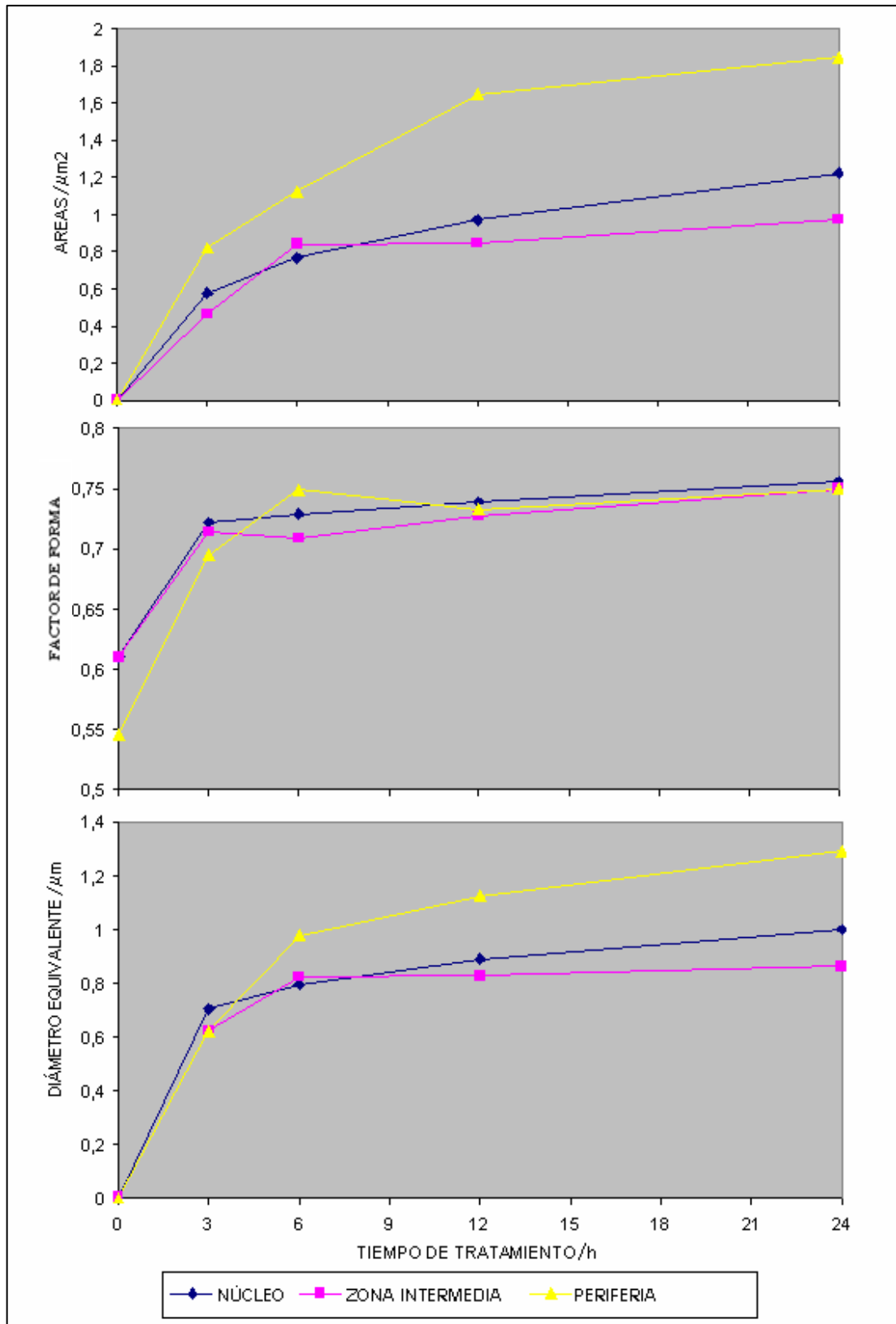


Figura 5. 46. Evolución del silicio eutéctico en un lingote de Rheocasting a 500 °C.

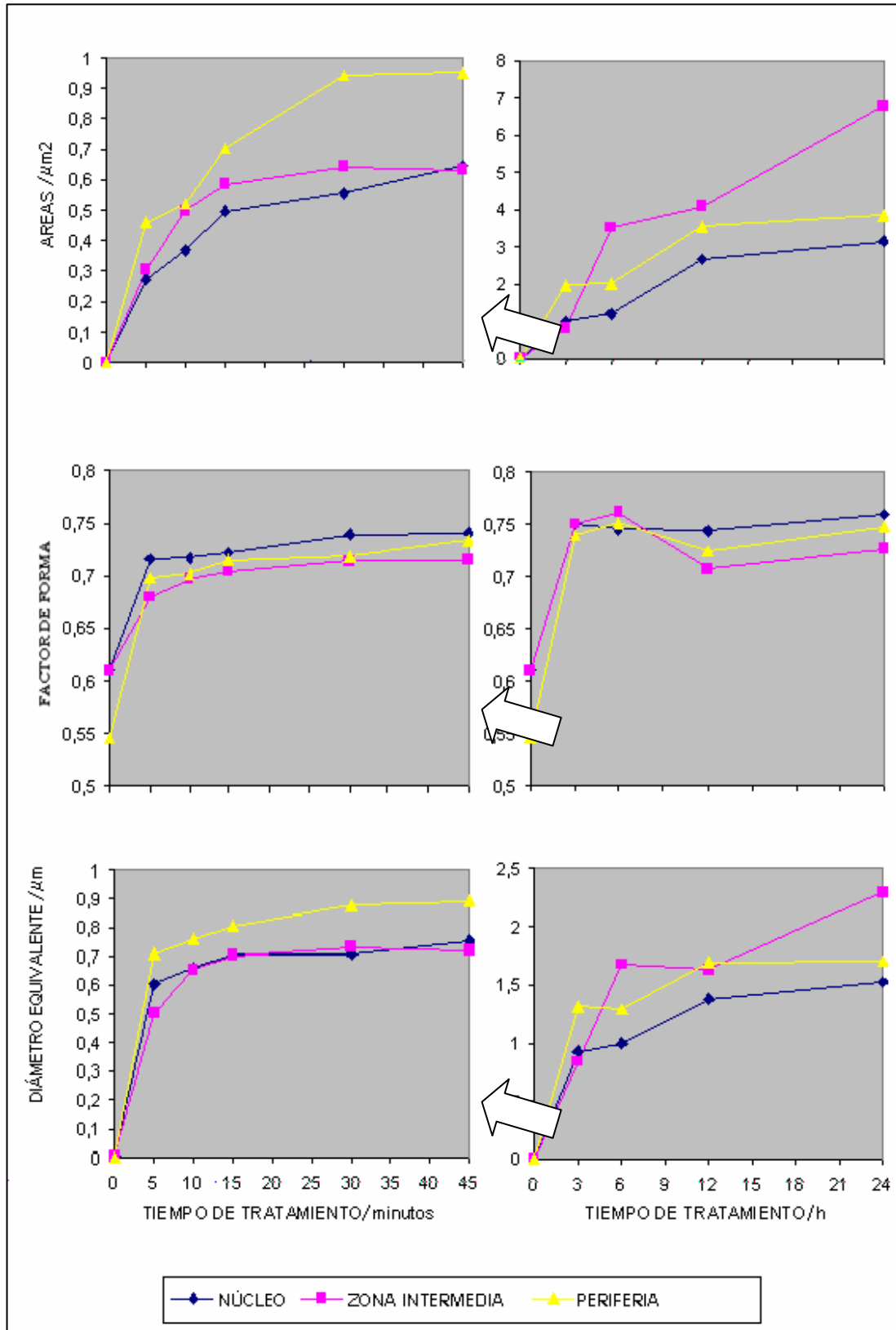


Figura 5.47. Evolución del silicio eutéctico en un lingote de Rheocasting a 550 °C

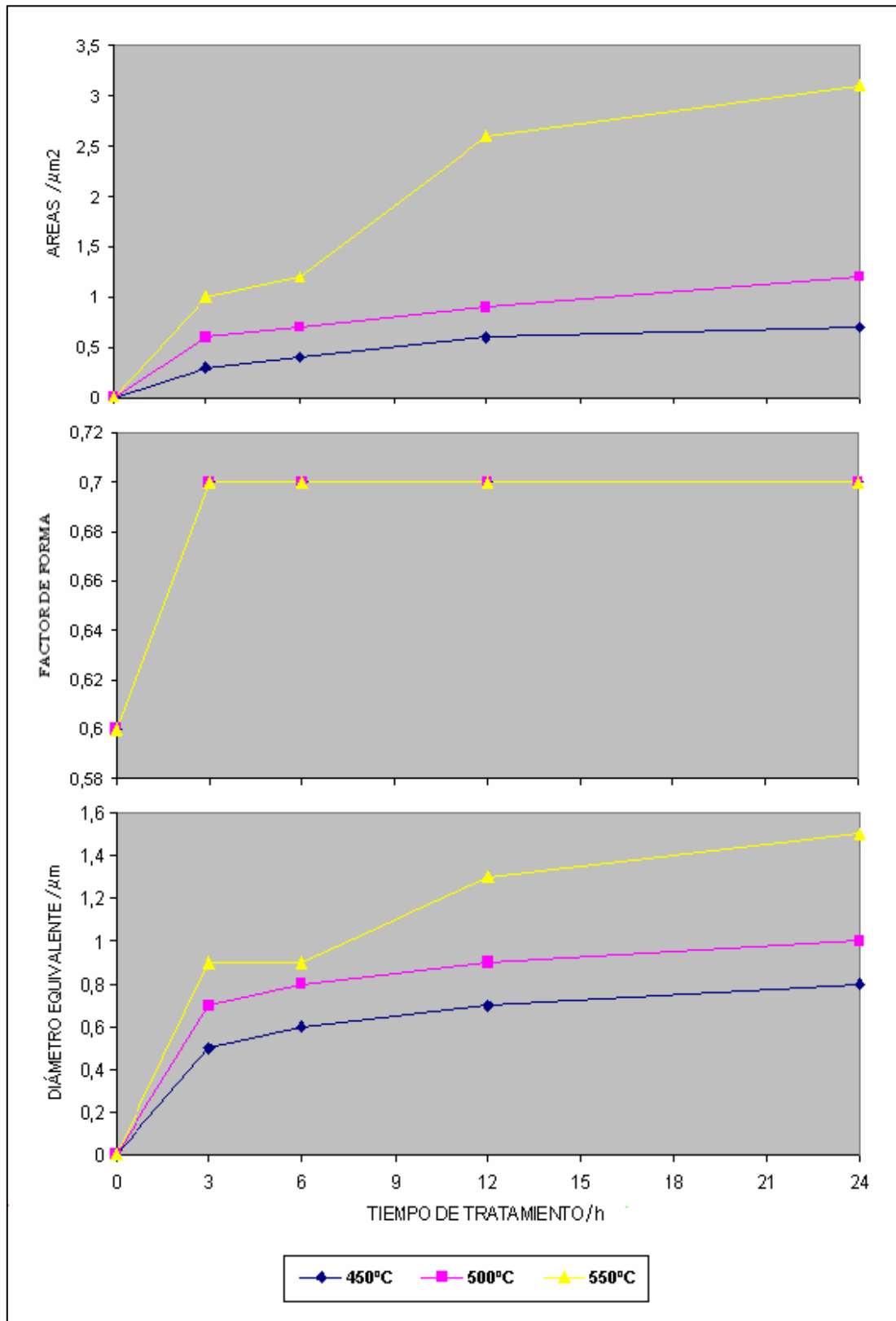


Figura 5.48. Lingote de Rheocasting A357: análisis del silicio eutéctico del núcleo a distintas temperaturas.

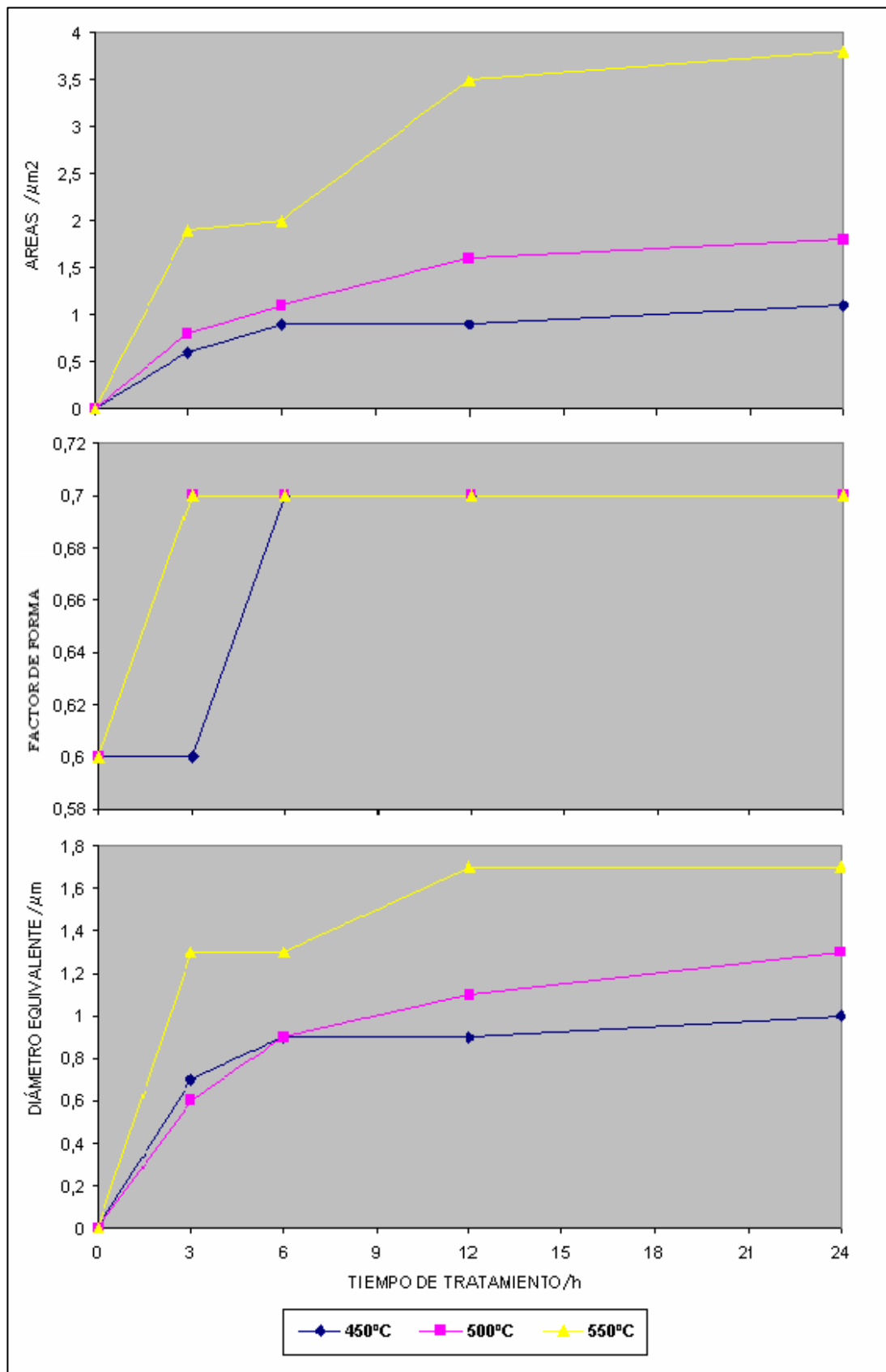


Figura 5.49. Lingote de Rheocasting: A357: análisis del silicio eutéctico de la periferia a distintas temperaturas.

5.4 CINÉTICA DE CRECIMIENTO DEL SILICIO

En las Figs. 5.48 y 5.49 se ha representado la evolución del diámetro del silicio eutéctico en función del tiempo de tratamiento [For03] [For05], a las tres temperaturas ensayadas y en las dos zonas significativas del lingote: el núcleo y la periferia (los datos numéricos se encuentran en el Anexo, Tablas 1.10 a 1.15). El tamaño del silicio crece rápidamente en las primeras etapas del calentamiento y el diámetro de los cristales alcanza valores de 1,5 μm en el núcleo y 1,7 μm en la periferia. Estas gráficas se han ajustado a una función de potencia, que se muestra en la Tabla 5.2, con objeto de determinar el valor del exponente n de la Ecuación 3.2, que ha resultado aproximadamente igual a 0,2.

$$D = Kt^n \quad (3.2)$$

Aplicando la Ecuación 2.4 se ha determinado el exponente m .

$$D^m - D_o^m = Kt \quad (2.4)$$

Tabla 5.2. Función de potencia para cada temperatura y zona del lingote de Rheocasting.

| Temperatura /°C | Función (NÚCLEO) | m |
|-----------------|---------------------|-----|
| 450 | $D = 0,409t^{0,23}$ | 4,3 |
| 500 | $D = 0,605t^{0,15}$ | 6,6 |
| 550 | $D = 0,774t^{0,20}$ | 5,0 |
| Temperatura /°C | Función (PERIFERIA) | m |
| 450 | $D = 0,565t^{0,20}$ | 5,0 |
| 500 | $D = 0,603t^{0,23}$ | 4,3 |
| 550 | $D = 0,973t^{0,19}$ | 5,2 |

Lingote de Rheocasting

Para un valor medio de $n = 0,2$ y aplicando logaritmos a la Ecuación 3.2 se determinan gráficamente los valores de k a cada temperatura, que denominaremos k_T , que es el antilogaritmo de la ordenada en el origen. Las gráficas se muestran en las Figs. 5.50 y 5.51. Los valores obtenidos de k_T se muestran en la Tabla 5.3.

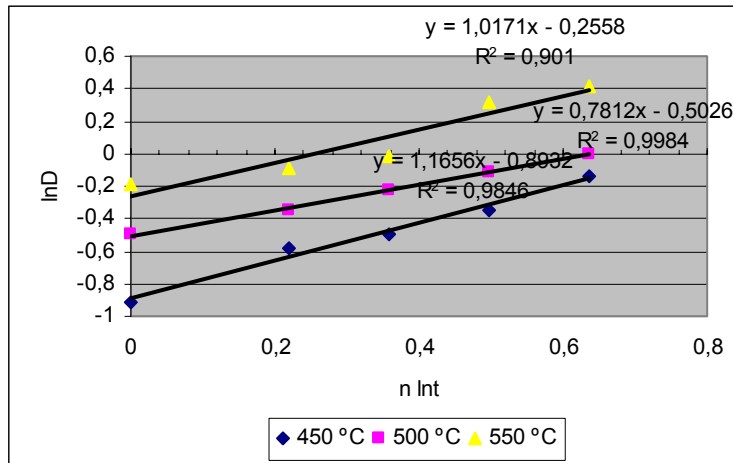


Figura 5.50. Representación del diámetro en función del tiempo a cada temperatura, en el núcleo del lingote de Rheocasting.

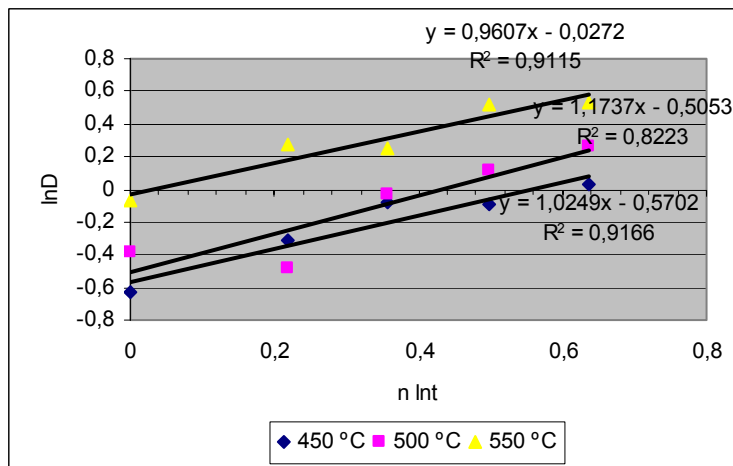


Figura 5.51. Representación del diámetro en función del tiempo a cada temperatura, en el núcleo del lingote de Rheocasting.