

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 989**

51 Int. Cl.:
C22C 23/00 (2006.01)
C22C 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **05813455 .2**
- 96 Fecha de presentación: **02.12.2005**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **1838887**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.10.2007**

54 Título: **Aleaciones de magnesio para el almacenamiento de hidrógeno**

30 Prioridad:
07.12.2004 AU 2004907006

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
05.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
05.10.2012

73 Titular/es:
Hydrexia Pty Ltd
Staff House Road The University of Queensland
St Lucia, Queensland, AU

72 Inventor/es:
DALHE, Anne y
NOGITA, Kazuhiro

74 Agente/Representante:
Carvajal y Urquijo, Isabel

ES 2 387 989 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Aleaciones de magnesio para el almacenamiento de hidrógeno.

Campo de la invención

5 Esta invención se refiere a materiales para el almacenamiento de hidrógeno y se refiere particularmente a una aleación colada que puede usarse como un material para el almacenamiento de hidrógeno.

Antecedentes de la invención

10 A medida que se expande la población mundial y se incrementa la actividad económica, existen signos siempre crecientes de que las concentraciones atmosféricas crecientes de dióxido de carbono están calentando la tierra provocando el cambio climático. Aunque el agotamiento final de las fuentes de energía petrolíferas y los combustibles fósiles del mundo requerirá inevitablemente encontrar otras fuentes de energía económicas, los signos más notables del calentamiento global tienen presiones incrementadas para que los sistemas energéticos globales se alejen de los combustibles ricos en carbono cuya combustión produce monóxido de carbono y dióxido de carbono gaseosos.

15 La energía generada por hidrógeno está atrayendo mucho interés y se espera que finalmente sea un sustituto de los combustibles basados en petróleo. Sin embargo, todavía existen varios asuntos técnicos y barreras que deben vencerse antes de que el hidrógeno pueda adoptarse como un combustible práctico, siendo el principal obstáculo el desarrollo de un sistema de almacenamiento de hidrógeno viable. Aunque el hidrógeno puede almacenarse como un gas comprimido o un líquido, el primero ocupa un gran volumen y la producción del último consume gran cantidad de energía, reduciendo cualesquiera beneficios medioambientales. Además, el hidrógeno tanto gaseoso como líquido es potencialmente peligroso si los recipientes de almacenamiento a presión se rompen.

20 Un método más seguro y más compacto de almacenamiento de hidrógeno es almacenarlo dentro de materiales sólidos. Cuando se infiltran con hidrógeno a presiones relativamente bajas, los metales y los compuestos intermetálicos pueden absorber grandes cantidades de hidrógeno en una forma sólida segura. El hidrógeno almacenado puede liberarse cuando se requiera simplemente calentando la aleación. El almacenamiento de hidrógeno como un hidruro sólido puede proporcionar un mayor porcentaje en peso de almacenamiento que el gas comprimido. Sin embargo, un material para el almacenamiento de hidrógeno deseable debe tener una alta capacidad de almacenamiento con relación al peso del material, una temperatura de desorción adecuada, buena cinética, buena reversibilidad y ser de un coste relativamente bajo.

25 El magnesio puro tiene una capacidad de transporte de hidrógeno teórica suficiente en 7,6% en peso. Sin embargo, el hidruro resultante es demasiado estable y la temperatura debe incrementarse hasta 278°C para que el hidrógeno se libere. Esta temperatura de desorción hace a tales materiales económicamente poco atractivos. Es deseable una temperatura de desorción inferior no solo para reducir la cantidad de energía requerida para liberar el hidrógeno sino para permitir la utilización eficaz del calor de escape de los vehículos para liberar el hidrógeno. En comparación con el magnesio puro, el compuesto Mg_2Ni tiene una capacidad de almacenamiento de hidrógeno reducida de 3,6% en peso pero, de forma importante, la temperatura requerida para la liberación de hidrógeno se disminuye hasta menos que la del magnesio puro. Se cree que el mecanismo de almacenamiento de hidrógeno implica la formación de partículas de hidruro (sólidas), es decir MgH_2 y Mg_2NiH_4 , en la microestructura.

30 Recientemente, se han usado técnicas de colada tixotrópicas seguidas por refusión parcial y temple [Y.-J. Kim, T.-W. Hong: Materials Transactions 43 (2002) 1741-1747] para producir aleaciones hipoeutécticas de Mg-Ni que consisten en dendritas ricas en magnesio rodeadas por eutéctico de Mg- Mg_2Ni afinado. Estas aleaciones absorben grandes cantidades de hidrógeno, similares al magnesio puro, y presentan solamente una única meseta de absorción de hidrógeno en la curva de presión-composición-temperatura (PCT), es decir, no mesetas separadas para cada fase. Se cree que la fase de níquel y/o Mg_2Ni actúa como un catalizador, mejorando la cinética de la transferencia de hidrógeno a las fases sólidas ricas en magnesio a través de la formación de MgH_2 .

35 Esta realización ha potenciado la investigación [Véase la revisión de S. Orimo y H. Fujii, Applied Physics A 72 (2001) 167-186] usando nanotecnología y técnicas de pulvimetalurgia para producir materiales con grandes áreas interfaciales internas. Estas técnicas son atractivas debido a que dan como resultado grandes áreas interfaciales e introducen defectos cristalográficos tales como dislocaciones y maclas, que podrían distribuir catalizadores potenciales a través de la microestructura, permitiéndolas tener una amplia influencia sobre la cinética de la reacción. Desgraciadamente, las técnicas de pulvimetalurgia a nanoescala ofrecen un control limitado sobre la estructura cristalográfica de las fases (es decir, interfases, maclas, etc), el polvo sería altamente explosivo y serían prohibitivamente costosas para la producción en masa a gran escala de componentes para el almacenamiento de hidrógeno comerciales. WO02/02835 describe un polvo de aleación basado en magnesio que comprende 0,5-2,5% en peso de níquel, 1,0-4,0% en peso de metal de Misch (Ce, La y Pr), 3-7% en peso de Al, 0,1-1,5% en peso de Y y 40 0,3-1,5% en peso de silicio para mezclas en polvo para el almacenamiento de hidrógeno. Este documento no describe un material colado que tiene alta capacidad de almacenamiento de hidrógeno. Ninguna de las investigaciones presentadas hasta la fecha considera métodos por los que puedan producirse componentes para el almacenamiento de hidrógeno de rendimiento superior usando procedimientos de coste inferior más aplicables a la

producción en masa.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar una aleación de MgNi colable con capacidades de almacenamiento de hidrógeno mejoradas.

Sumario de la invención

- 5 De acuerdo con un aspecto, la invención proporciona un método de acuerdo con la reivindicación 1 para producir un material de almacenamiento de hidrógeno que incluye las etapas de formar una masa fundida de magnesio-níquel que tiene adiciones de al menos un elemento de afino, siendo capaz el elemento de afino de promover una mezcla eutéctica afinada con maclaje incrementado en la fase intermetálica de magnesio-níquel y solidificar la masa fundida de magnesio-níquel a un material de almacenamiento de hidrógeno con dicha estructura eutéctica afinada.
- 10 En una realización preferida, la masa fundida de magnesio-níquel se forma mediante las etapas de añadir níquel a la masa fundida de magnesio para producir una aleación hipoeutéctica de magnesio-níquel homogeneizando la masa fundida de magnesio-níquel y añadir el elemento o los elementos de afino a la masa fundida bajo una atmósfera protectora en grados de adición de más de cero y hasta 2% en peso y preferiblemente mayor de cero y menor de 500 ppm.
- 15 El elemento de afino tiene un radio atómico dentro del intervalo de aproximadamente 1-1,65 veces el del magnesio. Se entiende que los elementos de afino con radios atómicos dentro de este intervalo proporcionarán la estructura eutéctica afinada analizada anteriormente. Los elementos de afino se seleccionan del grupo que comprende Zr, Na, K, Ba, Ca, Sr, La, Y, Yb, Rb, Cs y elementos de las tierras raras tales como Eu. El circonio se añade para afinar el grado de cristales de magnesio y cuando se usa requiere al menos uno más de los elementos del grupo.
- 20 En otro aspecto, la invención puede proporcionar un método para producir un material para el almacenamiento de hidrógeno que comprende las etapas de formar una masa fundida hipoeutéctica de magnesio-níquel que tiene adiciones de al menos un elemento de afino que tiene un radio atómico dentro del intervalo de 1-1,65 veces el del magnesio, proporcionándose el elemento de afino en la masa fundida en grados de adición mayores de cero y de hasta 2% en peso y preferiblemente menores de 500 ppm, y colar la masa fundida de magnesio-níquel.
- 25 La etapa de solidificación en ambos aspectos es una etapa de colada en la que el metal se cuela mediante un procedimiento adecuado tal como vertido en moldes metálicos precalentados que enfrían la colada. La etapa de solidificación pueden ser otros procedimientos de solidificación controlados. Sin embargo, una vez que la aleación se ha colado, se somete a continuación a activación y se usa como un material para el almacenamiento de hidrógeno. La aleación se usa preferiblemente en el estado colado.
- 30 En otra realización de la invención, se proporciona una aleación para el almacenamiento de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 7.
- Las adiciones de afino se seleccionan del grupo de Zr, Na, K, Ba, Ca, Sr, La, Y, Yb, Rb, Cs y Eu con grados de adición mayores de cero y de hasta 2% en peso y preferiblemente mayores de cero y menores de 500 ppm. Los elementos de adición más preferidos son el sodio y el circonio.
- 35 Los solicitantes han encontrado que mediante la adición de elementos traza que tienen radios atómicos de aproximadamente el del magnesio hasta 1,65 veces el radio atómico del magnesio a sistemas de MgNi hipoeutécticos, se potencian defectos cristalinos en forma de macla en la fase intermetálica de Mg₂Ni. Se cree que incrementar el afino y los defectos cristalinos en la fase de Mg₂Ni cataliza la reacción de hidruración en las fases sólidas ricas en magnesio de la aleación, incrementando así la capacidad de la aleación para la captación de hidrógeno y la cinética de la absorción de hidrógeno.
- 40 Por otra parte, como el material se produce mediante un procedimiento de solidificación por colada, es un procedimiento más viable comercialmente para la producción en masa a gran escala de componentes para el almacenamiento de hidrógeno.

Descripción de los dibujos y la realización preferida

- 45 Características, objetivos y ventajas adicionales de la presente invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción de la realización preferida y los dibujos adjuntos, en los que
- la Fig 1 es una gráfica de presión-composición-temperatura de una aleación de magnesio no modificada con 14% de Ni,
- la Fig 2 es una gráfica que resume el tiempo de activación a 350°C y 2 MPa para los Ejemplos 1-6,
- 50 la Fig 3 es una gráfica de datos de absorción de PCT a 350°C y 2 MPa para los Ejemplos 1-6,
- la Fig 4 es una gráfica de datos de absorción de PCT a 300°C y 2 MPa para los Ejemplos 1-6,

la Fig 5 es una gráfica de datos de absorción de PCT a 250°C y 2 MPa para los Ejemplos 1-6,

la Fig 6 es una gráfica que resume la capacidad de absorción de PCT a 350°C y 2 MPa,

la Fig 7 es una gráfica que ilustra la relación entre la absorción y la desorción para una aleación de Mg 14 Ni no modificada,

5 la Fig 8 es una gráfica de los datos de desorción a 0,2 MPa para los Ejemplos 1-6, y

las Fig 9(a)-9(h) son micrografías de SEM de las aleaciones recién coladas de los Ejemplos 1-6.

El material para el almacenamiento de hidrógeno se produce de acuerdo con la invención al formar un magnesio-níquel hipoeutéctico al añadir níquel a magnesio fundido. La adición de níquel puede estar dentro del intervalo de más de cero hasta 20% en peso y preferiblemente 10-20% en peso de níquel. La masa fundida se mezcla a continuación para proporcionar una mezcla homogeneizada. A esta aleación de magnesio-níquel se añaden elementos traza de material modificador de la cristalografía. Los elementos añadidos son los que afinan la fase de magnesio y promueven una estructura eutéctica afinada con maclaje incrementado en la fase intermetálica de magnesio-níquel.

15 La gama de elementos que satisfacen los dos criterios anteriores tienen radios atómicos alrededor del magnesio y de hasta 1,65 veces el del magnesio e incluyen Zr, K, Na, Ba, Ca, Sr, La, Y, Yb, Rb, Cs y Eu. Los elementos preferidos usados son el sodio y/o el circonio.

La masa fundida se agita de nuevo para homogeneizar la mezcla y se mantiene bajo una atmósfera protectora durante la etapa de homogeneización. La atmósfera protectora es cualquier atmósfera que evite que el magnesio entre en combustión. Atmósferas típicas incluyen SF₆ y HFC-134a.

20 El metal se cuela a continuación mediante un procedimiento de colada adecuado tal como al verter en moldes metálicos precalentados.

Aunque sin querer restringirse a una teoría de funcionamiento particular, se considera que el incremento de defectos cristalinos, áreas interfaciales y densidad de dislocaciones cataliza la reacción de hidruración en las fases sólidas ricas en magnesio de la aleación, incrementado así la capacidad y la cinética de la aleación para la captación de hidrógeno.

Ejemplos

La absorción de hidrógeno de las aleaciones de hidruro metálico se caracteriza usando los datos de presión-composición-temperatura (PCT) en equilibrio. Estos datos se obtienen al mantener una muestra de aleación a temperatura constante mientras se mide precisamente la cantidad de hidrógeno sorbida y la presión a la que se produce la sorción. La cantidad de hidrógeno sorbida se expresa en términos de la composición de la aleación, bien como una relación atómica de átomos de hidrógeno al número de átomos en la aleación metálica de base o bien como la capacidad de hidrógeno en el material sobre una base de porcentaje en peso.

PCT indica "presión-composición-isoterma" y muestra la capacidad máxima de absorción de hidrógeno a una temperatura fija. La presión en la absorción es mayor que en la desorción y la región de la "meseta" indica el intervalo adecuado para aplicaciones prácticas de almacenamiento/liberación.

La mayoría del hidrógeno se absorbe en un intervalo en el que hay poco cambio de presión. Esta región de presión casi constante se conoce como la presión meseta. La formación de hidruro metálico también está acompañada por histéresis, que aparece como la diferencia entre la curva de absorción superior y la curva de desorción inferior.

Ejemplo 1

40 Una aleación de magnesio no modificada que contiene 14% en peso de Ni se sometió a una atmósfera de hidrógeno de 2 MPa a 350°C durante un período de 20 horas. Se registraron los datos de presión-composición-temperatura y se muestran en la Figura 1.

A partir de la Figura 1, puede determinarse el tiempo de activación (T_a) de la aleación. El "Tiempo de activación" indica cuán rápidamente una aleación se vuelve "lista" para usar como una aleación de absorción de hidrógeno. Los tiempos de activación más cortos ahorran energía y son indicativos de diferencias de material fundamentales en el comportamiento cinético de las aleaciones. Nótese que la activación generalmente se requiere solo una vez en el ciclo vital de una aleación para el almacenamiento de hidrógeno. Una vez que la aleación se ha activado, el tiempo de absorción de hidrógeno se reduce significativamente según se evidencia por los últimos ciclos de la prueba.

50

Ejemplos 2-6

Tabla 1

Ejemplo	Elemento de afino	Grado de adición
2	Na	2400 ppm
3	Na	600 ppm
4	Ca	800 ppm
5	Eu	600 ppm
6	Zr	2% en peso

- 5 La aleación de magnesio-níquel del Ejemplo 1 se modificó mediante la adición de un elemento de afino. La Tabla 1 muestra el elemento de afino y el grado de adición de ese elemento.
- El tiempo de activación a partir de estos ejemplos se resume en la Figura 2. A partir de estos resultados, puede observarse que el tiempo de activación puede reducirse hasta 40% con respecto al de la aleación no modificada (de 8 horas a 3,8 horas). Esto es de significación práctica pero de forma más importante es indicativo de un comportamiento cinético superior de la aleación modificada.
- 10 Cuando los datos recogidos en los ejemplos anteriores se analizaban solamente mediante referencia a la curva de absorción, se producía la gráfica mostrada en la Figura 3.
- 15 Las curvas de PCT (solamente absorción) a 350°C muestran que todas las muestras pueden absorber alrededor de 7% en peso de hidrógeno. Existe poca diferencia entre las muestras. El Mg puro al 100% absorbe 7,6% en peso de hidrógeno y 7% en peso de absorción de hidrógeno está cercano al límite teórico para una muestra de Mg-14% en peso de Ni. Se cree que las fases primarias de Mg son las fases que absorben hidrógeno y se considera que las regiones eutécticas tienen una función catalítica que mejora la cinética del hidrógeno.
- 20 Las aleaciones de los Ejemplos 1-6 se caracterizaron a continuación a 300°C y 250°C con los resultados de absorción mostrados en las Figuras 4 y 5, respectivamente.
- A temperaturas inferiores, existe una capacidad de absorción disminuida pero una gran diferencia en el comportamiento entre aleaciones. La curva de PCT (solamente absorción) a 300°C muestra claramente la mejora de la absorción de hidrógeno desde 5,7% en peso (no modificada) hasta 6,6% en peso (Na alto, adición de Ca y Zr) o 6,8% en peso (Na bajo).
- 25 La Figura 6 es un resumen de la capacidad de absorción de hidrógeno máxima tomada de los resultados mostrados en la Figura 5. Puede observarse que a 350°C la capacidad de almacenamiento de hidrógeno máxima es similar (alrededor de 7% en peso) para todas las muestras coladas.
- A 250°C las aleaciones modificadas son superiores y la capacidad de hidrógeno máxima puede incrementarse más de 1% en peso con relación a la aleación no modificada (desde 5,3% en peso hasta 6,5% en peso).
- Incluso a 200°C (hasta la condición de 2 MPa), se observa que las muestras absorben aproximadamente 5,5% en peso de hidrógeno.
- 30 En cuanto a la temperatura de desorción, habitualmente, a una presión fija, la temperatura de absorción es inferior que la temperatura de desorción. La temperatura exacta variará dependiendo de la presión. La Figura 7 muestra la relación entre la absorción y la desorción para la aleación de Mg 14Ni no modificada a 0,2 MPa. La temperatura de inicio de la absorción 1 habitualmente es superior que la temperatura del final de la absorción 2. Cuando la aleación pasa a continuación a través del ciclo de desorción, puede observarse que la temperatura de inicio de la desorción 3 es superior que la temperatura del final de la desorción 4.
- 35 En la representación de las aleaciones modificadas de los Ejemplos 2-6 con relación a las aleaciones no modificadas, puede observarse que la temperatura del final de la desorción (región de meseta de la Figura 8) a 0,2 MPa disminuye aproximadamente 20°C con modificación. De hecho, la temperatura de desorción para la aleación de Mg Ni puede reducirse mediante adiciones de elementos traza.
- 40 La adición de los elementos modificadores incrementa la cantidad de áreas interfaciales internas dentro del material, la cantidad de defectos de apilamiento y la densidad de las dislocaciones/maclas en la aleación de magnesio-níquel solidificada. Se cree que el elemento de afino debe tener unos radios atómicos en el intervalo mencionado anteriormente a fin de alcanzar los efectos metalúrgicos en el metal recién colado.

5 El incremento en las dislocaciones provocado por las adiciones se ilustra en las micrografías de SEM Figuras 9 (a)-9(h). La Figura 9(a) es la SEM para Mg 14 Ni no modificado; la Fig 9(b) es la SEM para la misma aleación con adición de Zr; la Figura 9(c) es la SEM para una adición baja en sodio; la Fig 9(d) es la SEM para una adición alta en sodio; la Figura 9(e) es la SEM para una adición de calcio; y la Fig 9(f) es la SEM para una adición de Eu. La Fig 9(g) es la aleación no modificada de Mg 14 Ni de mayor amplificación; la Fig 9(h) es la adición baja en sodio con la amplificación más alta de la Fig 9(g).

10 La Figura 9 muestra imágenes electrónicas secundarias SEM de aleaciones hipoeutécticas de Mg-14% en peso de Ni de las aleaciones (a) y (g) no modificadas, (b) con adición de 2% en peso de Zr, (c) y (h) con adición de 600 ppm de Na, (d) con adición de 2400 ppm de Na, (e) con adición de 800 ppm de Ca y (f) con adición de 600 ppm de Eu. El negro en las figuras son dendritas de Mg primarias y el contraste negro y blanco pequeño es la estructura eutéctica de Mg-Mg₂Ni. Las imágenes demuestran claramente una microestructura eutéctica fibrosa muy afinada en todas las muestras modificadas en comparación con una microestructura eutéctica gruesa en la muestra no modificada.

15 Todas las muestras modificadas presentan una mejora relativa de aproximadamente 1% en peso para la capacidad de absorción de hidrógeno máxima. El afino de la estructura, incluso con niveles traza de adición, se considera bastante notable dando espaciamentos eutécticos por debajo de 1 µm y a menudo por debajo de 500 nm.

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir un material para el almacenamiento de hidrógeno, que incluye las etapas de:
formar una masa fundida hipoeutéctica de magnesio-níquel;
- 5 añadir hasta 2% en peso de un elemento de afino a la masa fundida bajo una atmósfera no oxidante, teniendo el elemento de afino un radio atómico dentro del intervalo de 1-1,65 veces el radio atómico del magnesio;
siendo el elemento de afino al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Zr, Na, K, Ba, Ca, Sr, La, Y, Yb, Rb, Cs y Eu, en donde el Zr se usa solamente en combinación con al menos otro elemento de dicho grupo; y
colar la masa fundida para producir el material para el almacenamiento de hidrógeno.
- 10 2. Un método para modificar las características de absorción y/o desorción de hidrógeno de una aleación hipoeutéctica de magnesio-níquel, que incluye las etapas de
añadir a una masa fundida hipoeutéctica de magnesio-níquel hasta 2% en peso de un elemento de afino bajo una atmósfera no oxidante, teniendo el elemento de afino un radio atómico dentro del intervalo de 1-1,65 veces el radio atómico del magnesio;
- 15 siendo el elemento de afino al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Zr, Na, K, Ba, Ca, Sr, La, Y, Yb, Rb, Cs y Eu;
en donde el Zr se usa solamente en combinación con al menos otro elemento de dicho grupo, y
colar la masa fundida para producir la aleación de magnesio-níquel modificada.
- 20 3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la masa fundida de magnesio-níquel contiene níquel dentro del intervalo de más de cero hasta 20%.
4. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la masa fundida de magnesio-níquel contiene níquel dentro del intervalo de 10-20% en peso.
5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el elemento de afino es Na.
- 25 6. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el elemento de afino se añade en un grado de adición de más de cero y menos de 500 ppm.
7. Una aleación de magnesio-níquel que consiste en:
aleación hipoeutéctica de magnesio-níquel;
más de cero y hasta 2% en peso de un elemento de afino, teniendo el elemento de afino un radio atómico en el
30 intervalo de 1 a 1,65 veces el radio atómico del magnesio;
siendo el elemento de afino al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Zr, Na, K, Ba, Ca, Sr, La, Y, Yb, Rb, Cs y Eu;
en donde el Zr solamente se usa en combinación con al menos otro elemento de dicho grupo; e
impurezas accidentales.
- 35 8. Un material para el almacenamiento de hidrógeno formado por una aleación de magnesio-níquel colada, siendo la aleación una aleación hipoeutéctica de magnesio-níquel de acuerdo con la reivindicación 7.
9. La aleación hipoeutéctica de magnesio-níquel de acuerdo con la reivindicación 7 u 8, en la que el níquel está presente en una cantidad de más de cero y hasta 20% en peso.
- 40 10. La aleación hipoeutéctica de magnesio-níquel de acuerdo con la reivindicación 7 u 8, en la que el níquel está presente en una cantidad de 10-20% en peso.
11. La aleación hipoeutéctica de magnesio-níquel de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en la que el elemento de afino es Na.
12. La aleación hipoeutéctica de magnesio-níquel de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, en la que el elemento de afino está presente en un grado de adición de más de cero y menos de 500 ppm.

13. La aleación hipoeutéctica de magnesio-níquel de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, en la que después de la etapa de colada la aleación tiene una estructura eutéctica afinada con maclaje en la fase intermetálica de magnesio-níquel.

5 14. La aleación hipoeutéctica de magnesio-níquel de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, que tiene espaciamentos eutécticos por debajo de 1 micra recién colada.

15. La aleación hipoeutéctica de magnesio-níquel de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 14, que tiene una capacidad de absorción de hidrógeno máxima a 250°C de 1 por ciento más que aleaciones de magnesio coladas no modificadas por la presencia de un elemento de afino cuando las aleaciones se hacen reaccionar bajo las mismas condiciones de reacción y tiempos de reacción limitados.

10

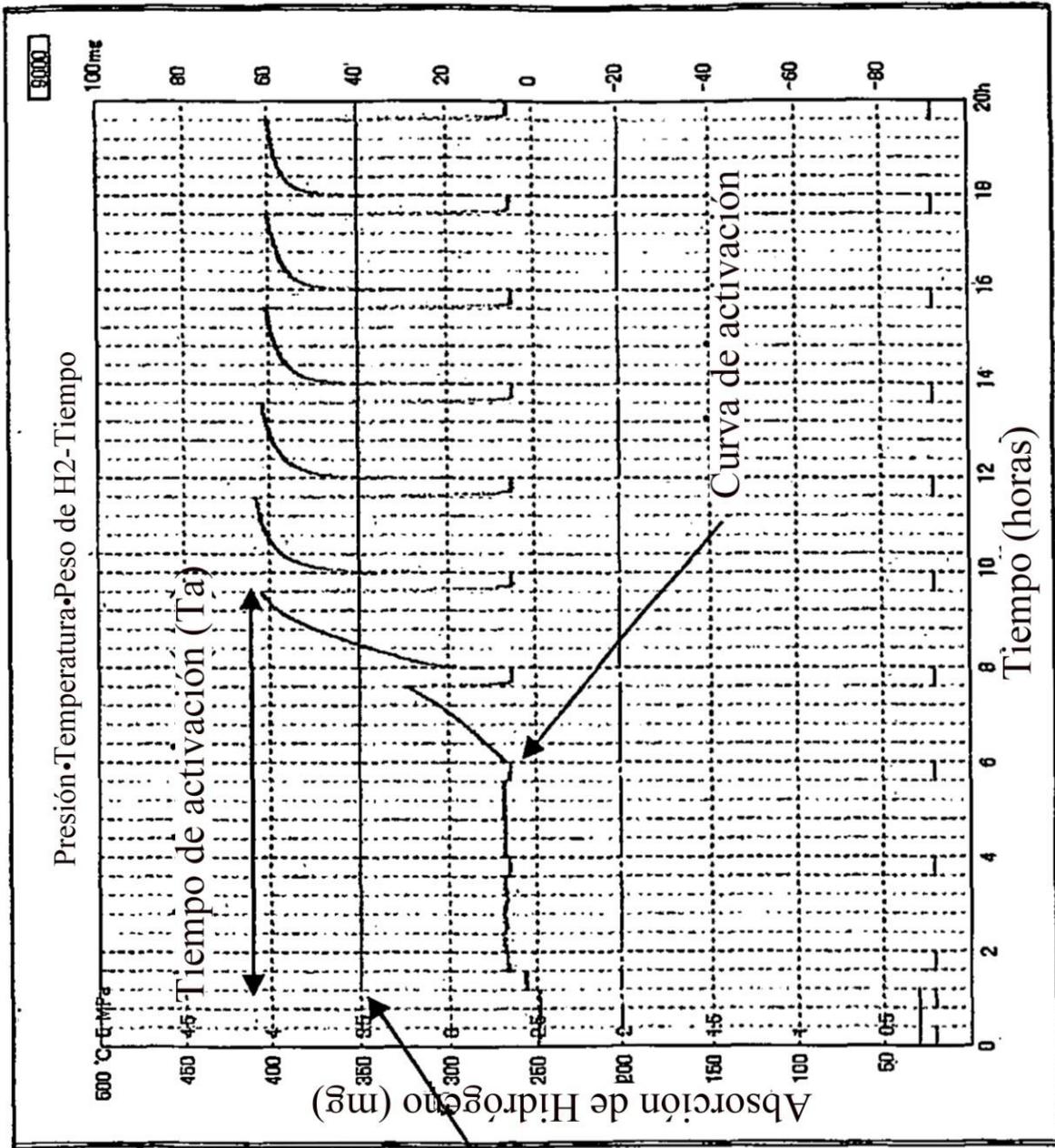


Figura 1

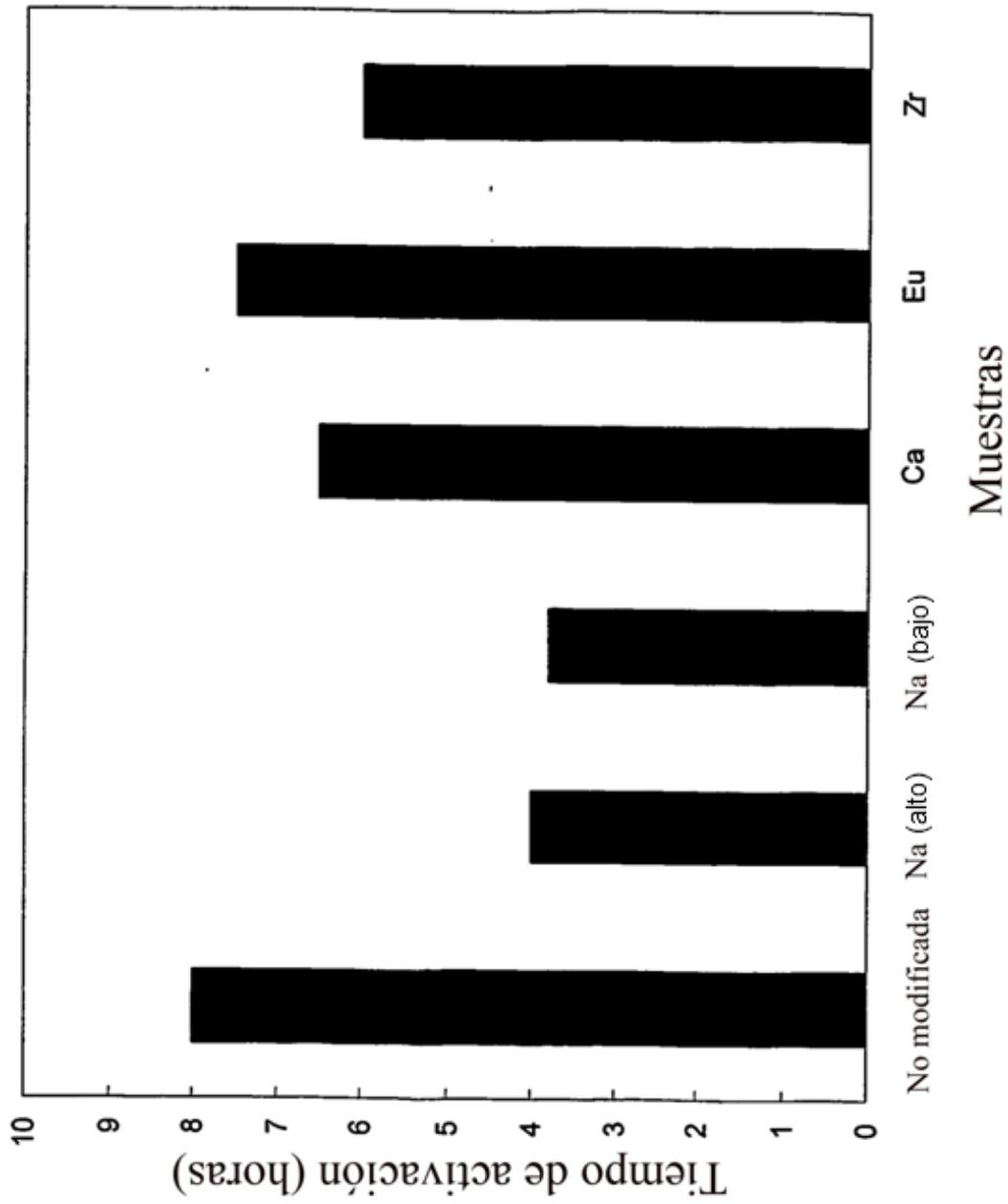


Figura 2

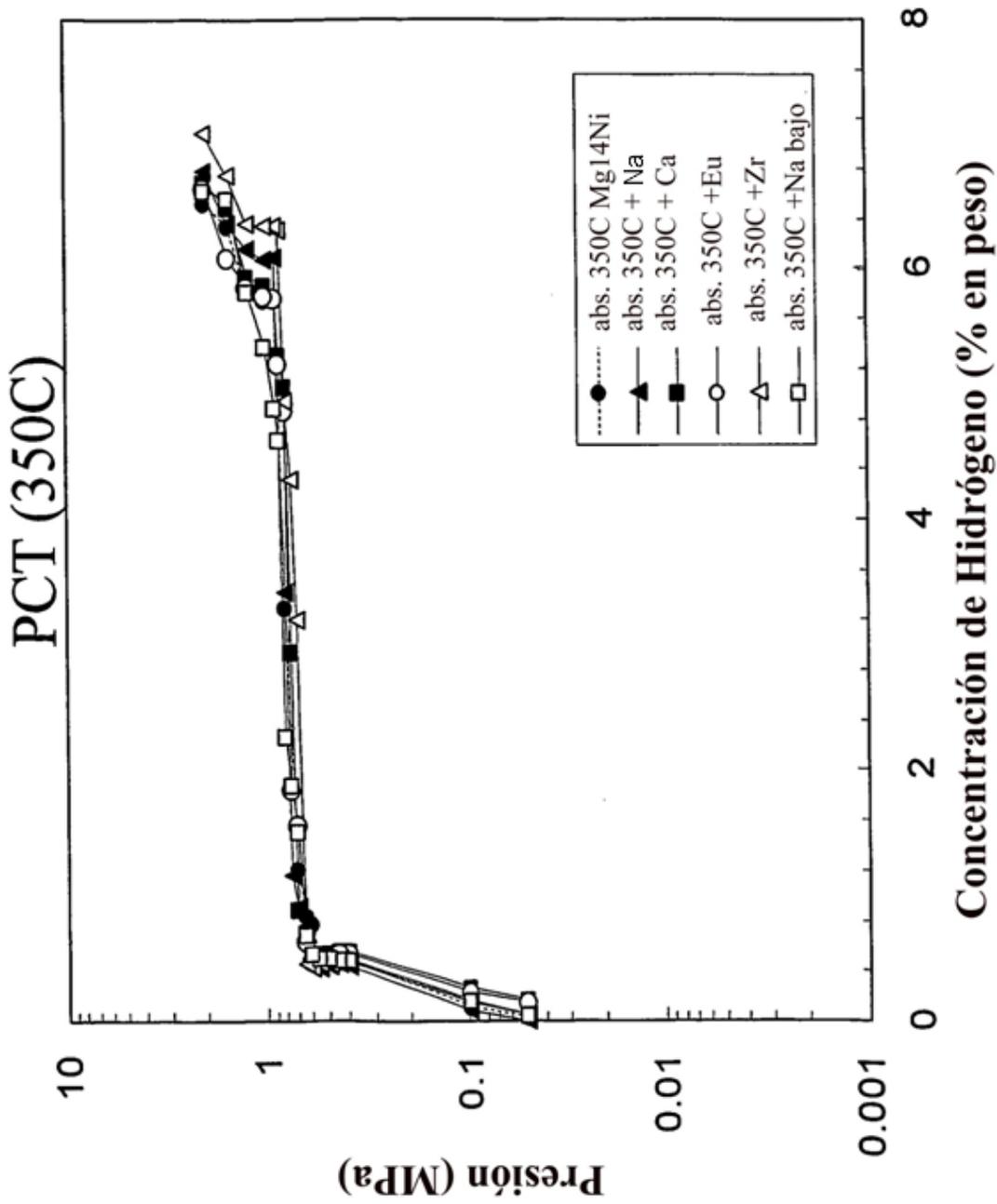


Figura 3

PCT (300C)

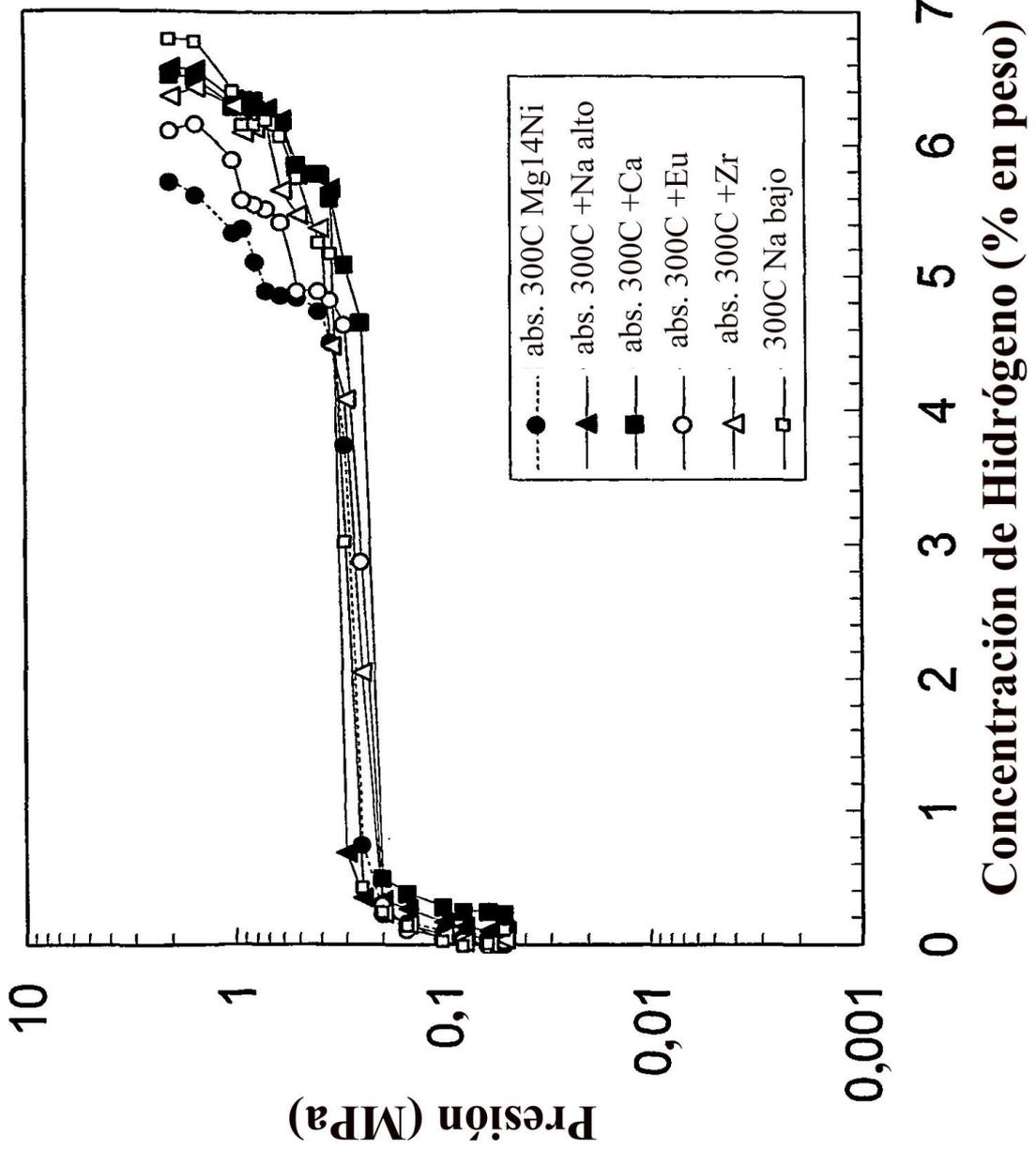


Figura 4

PCT (250C)

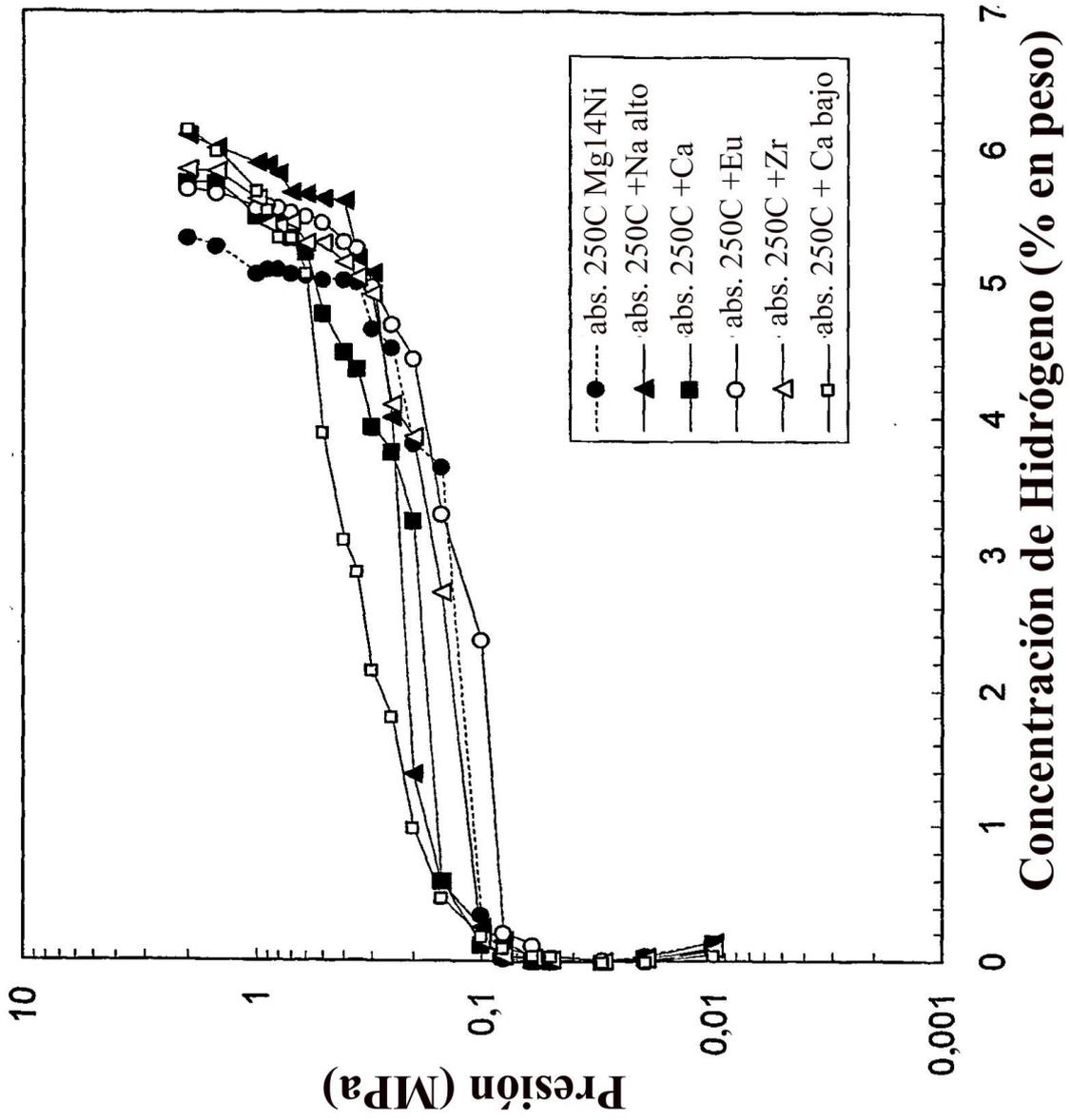


Figura 5

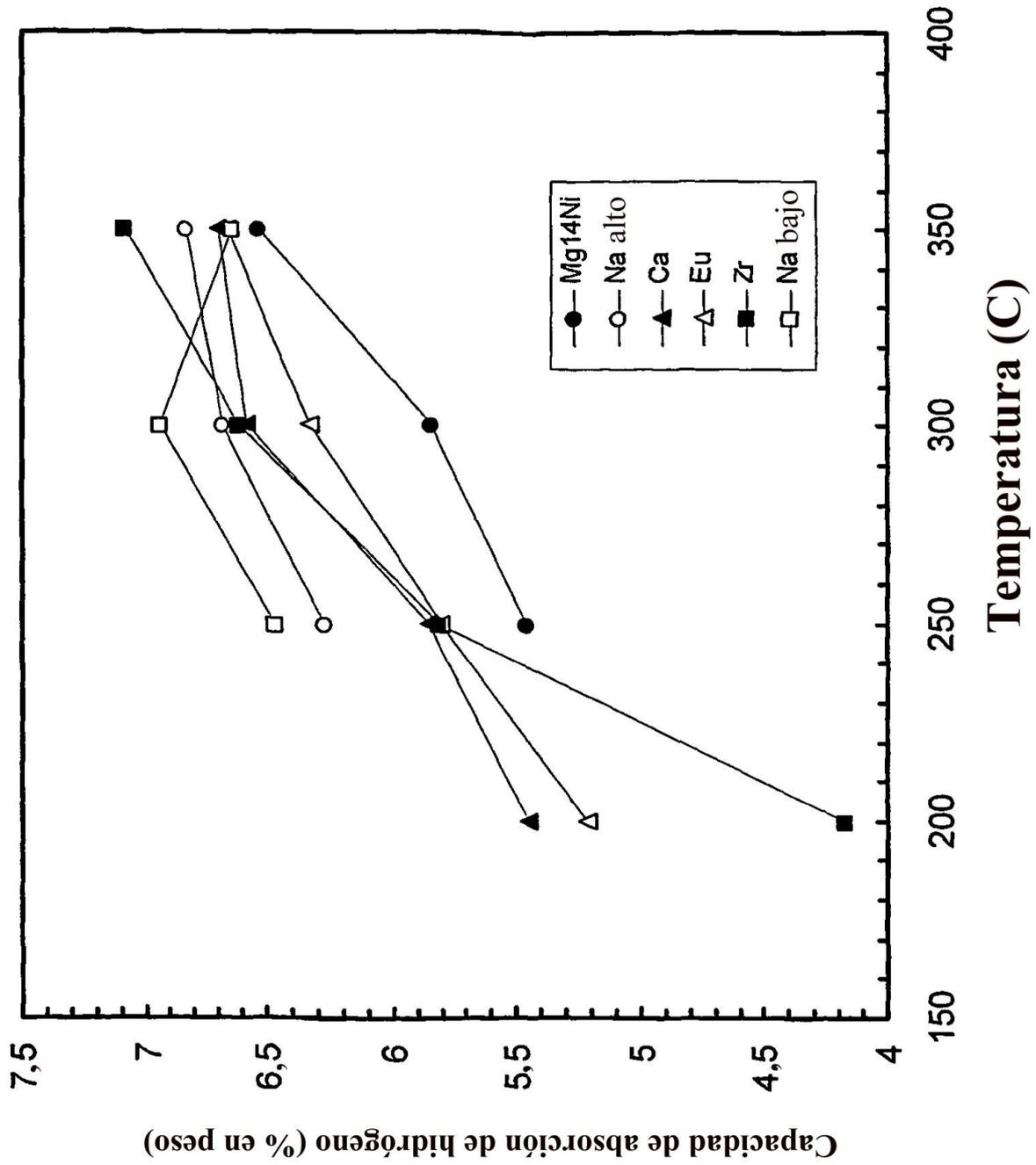


Figura 6

Desorción-Absorción a 0,2 MPa

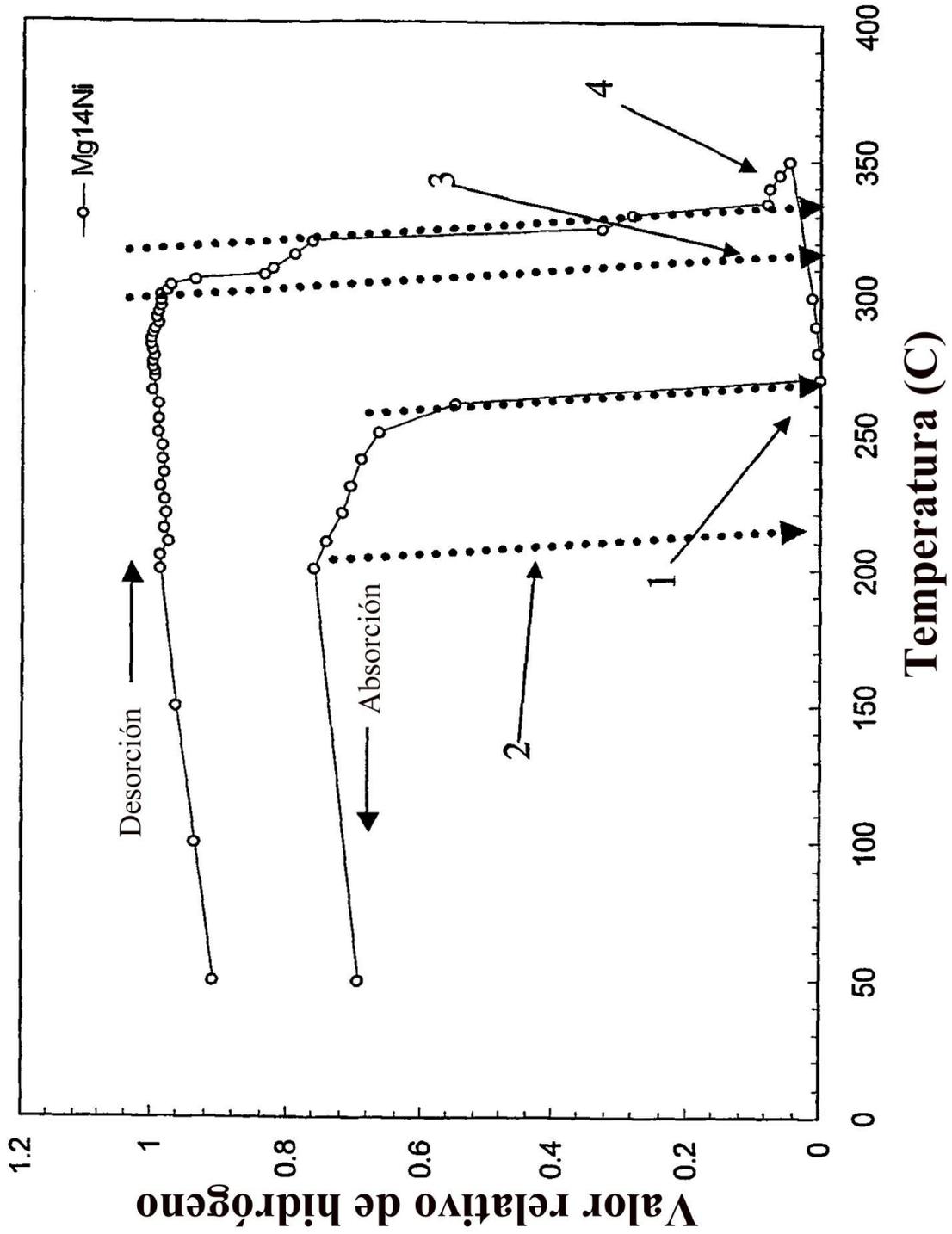


Figura 7

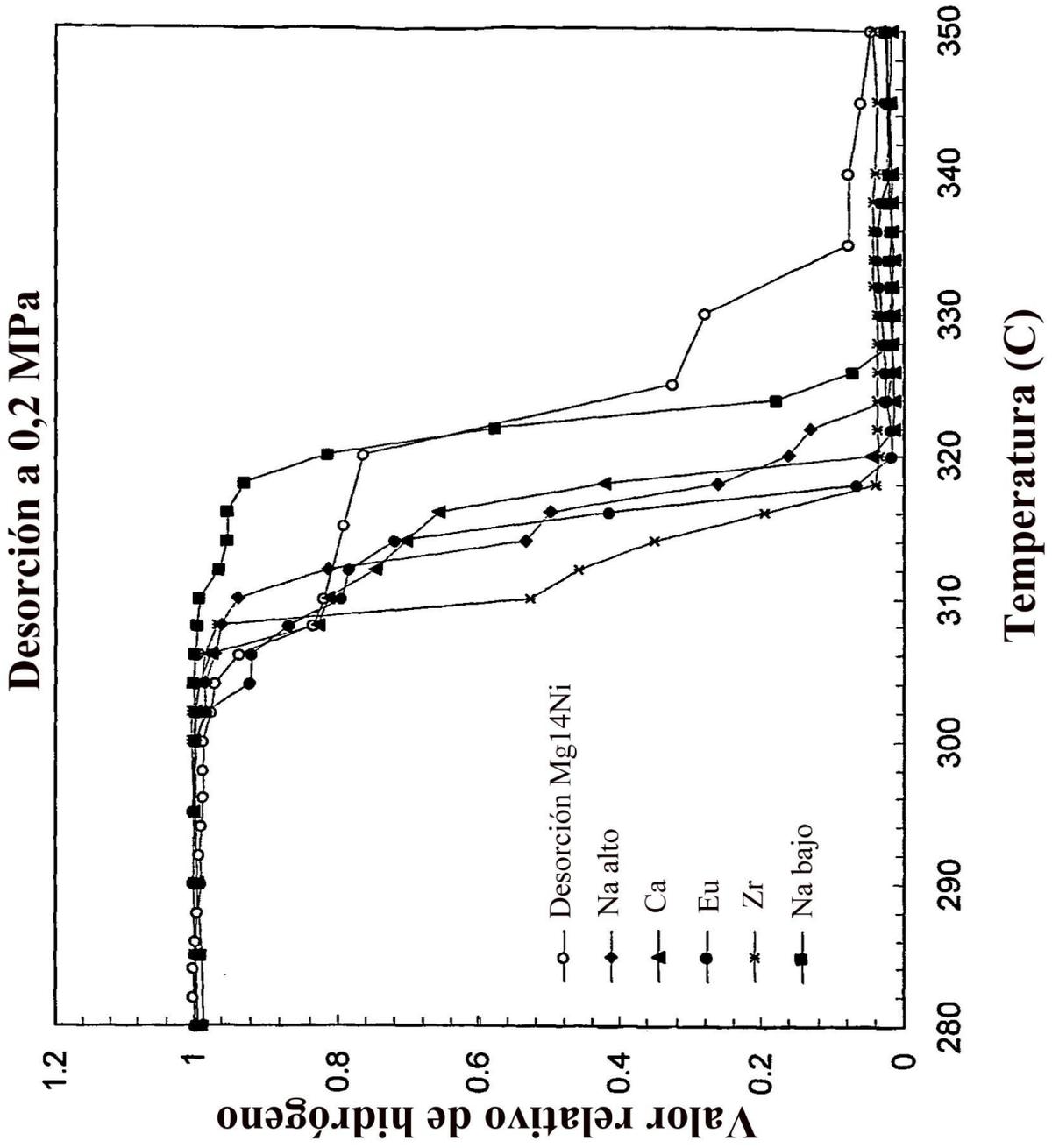


Figura 8



Figura 9(a)

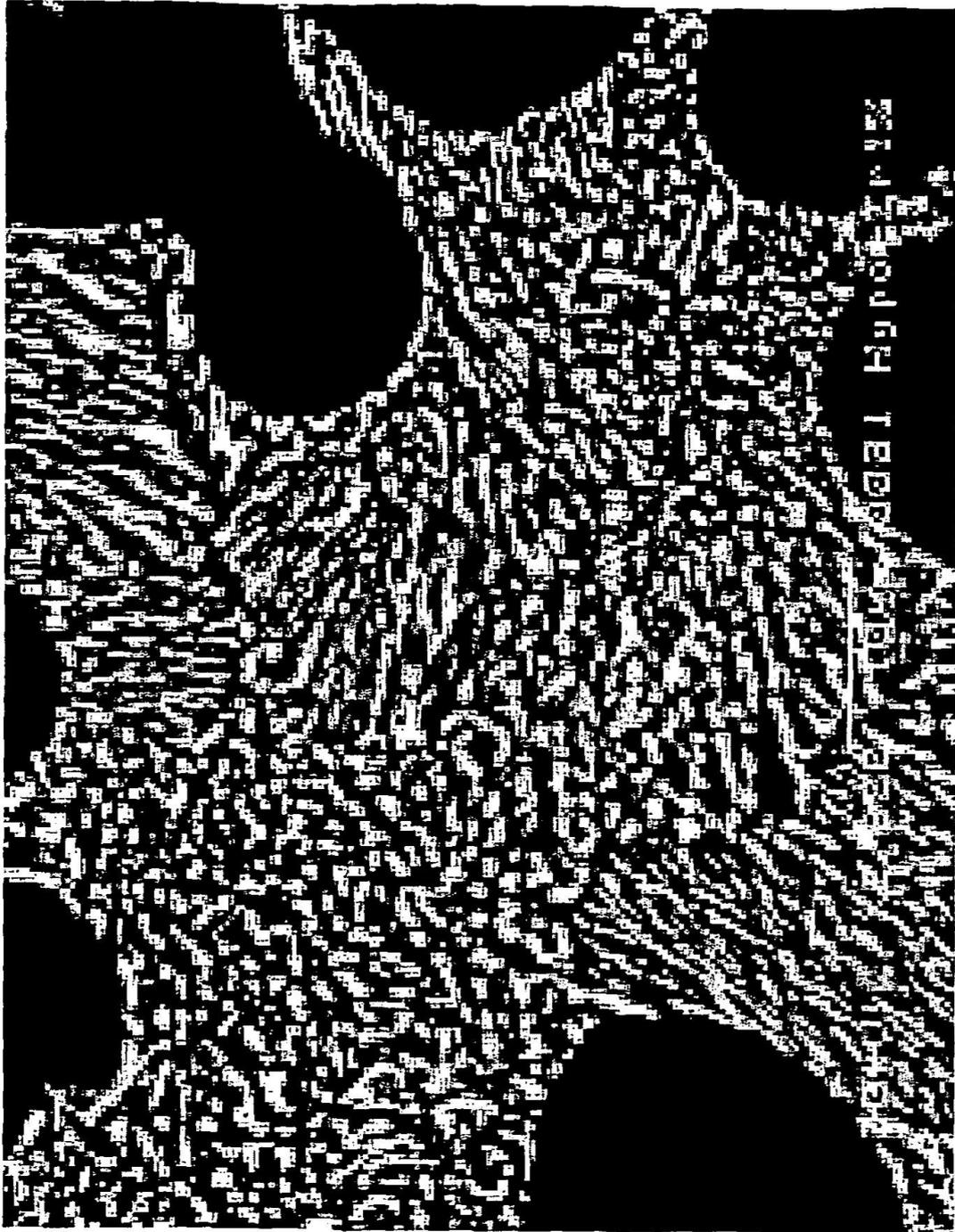


Figura 9(b)

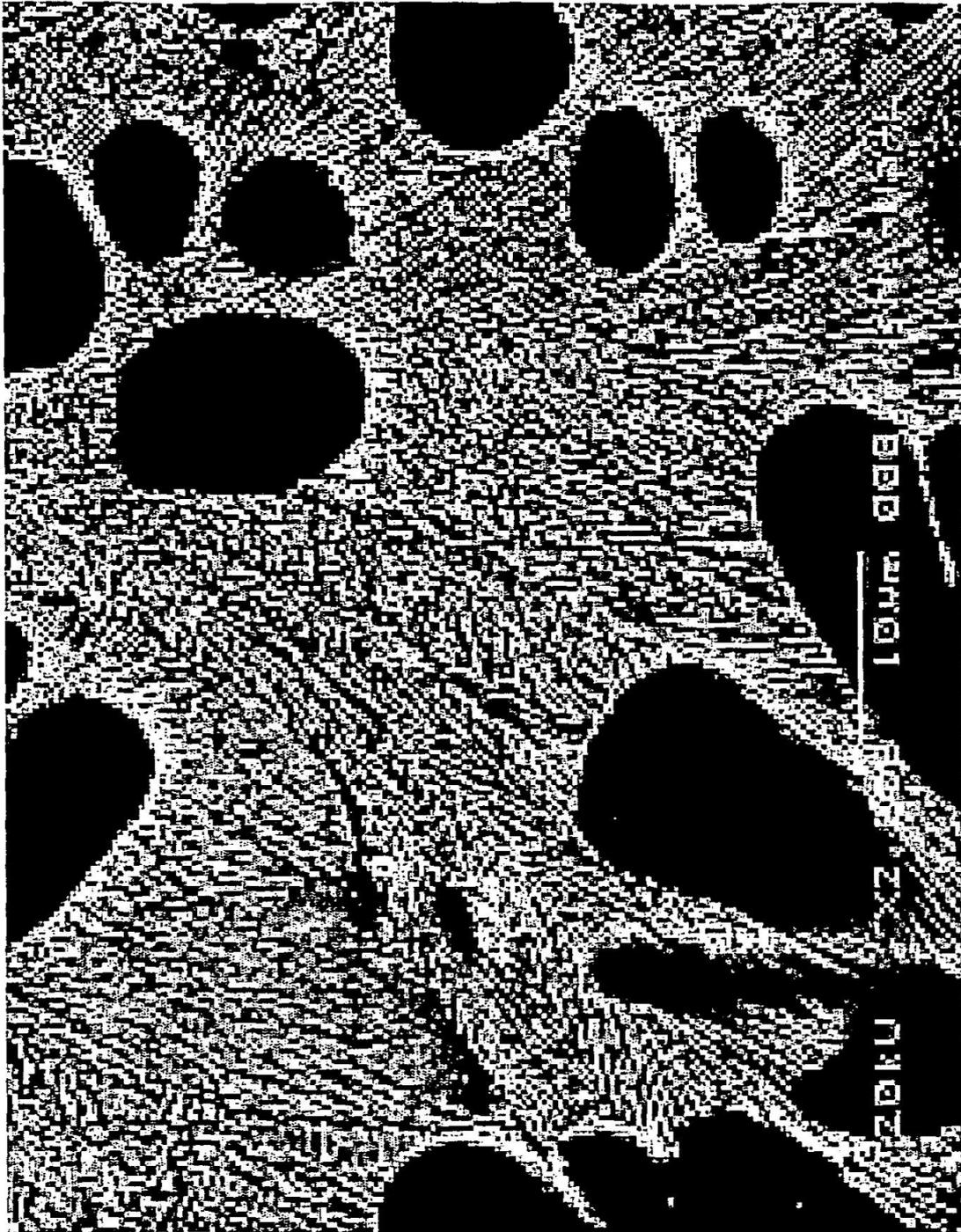


Figura 9(c)

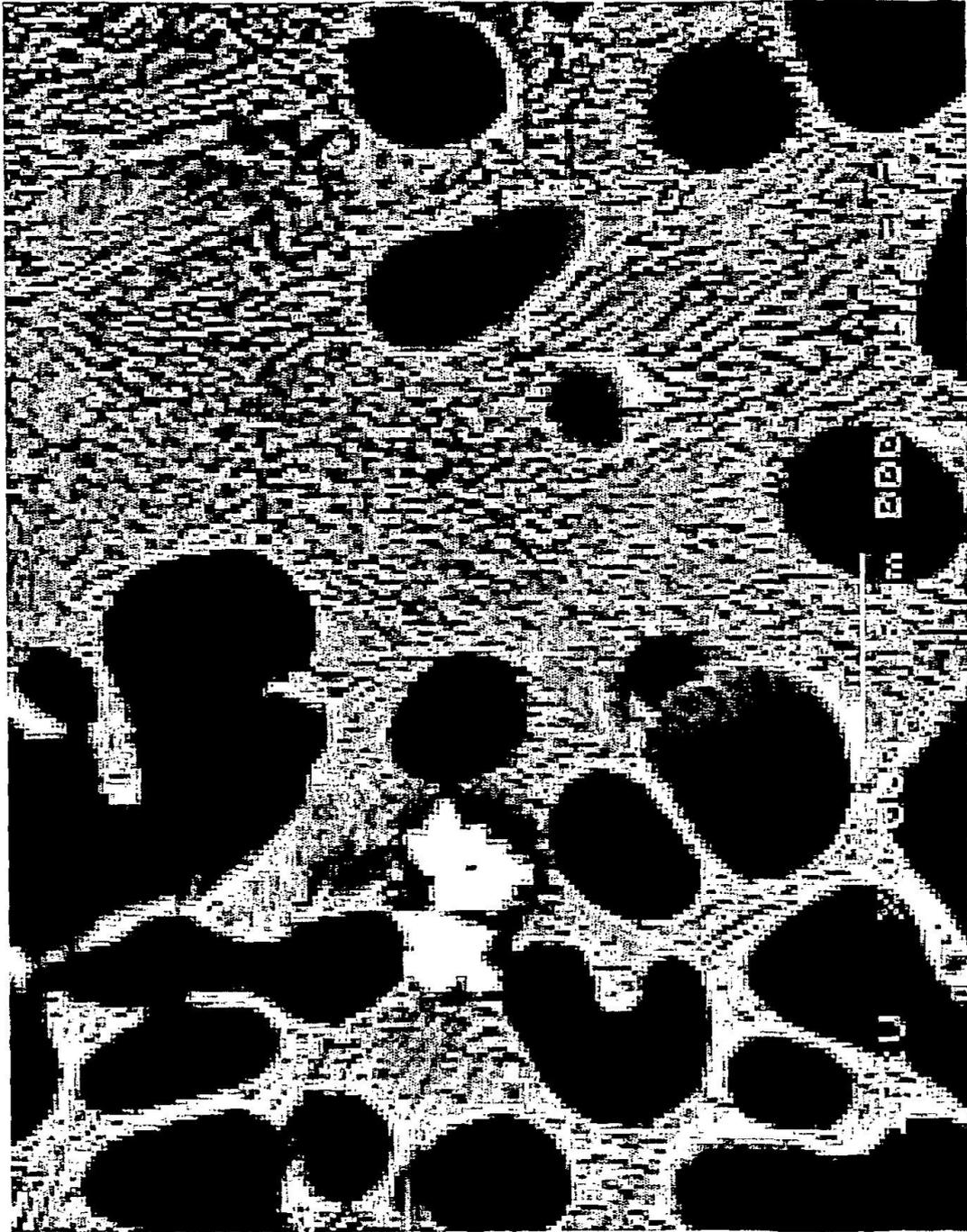


Figura 9(d)

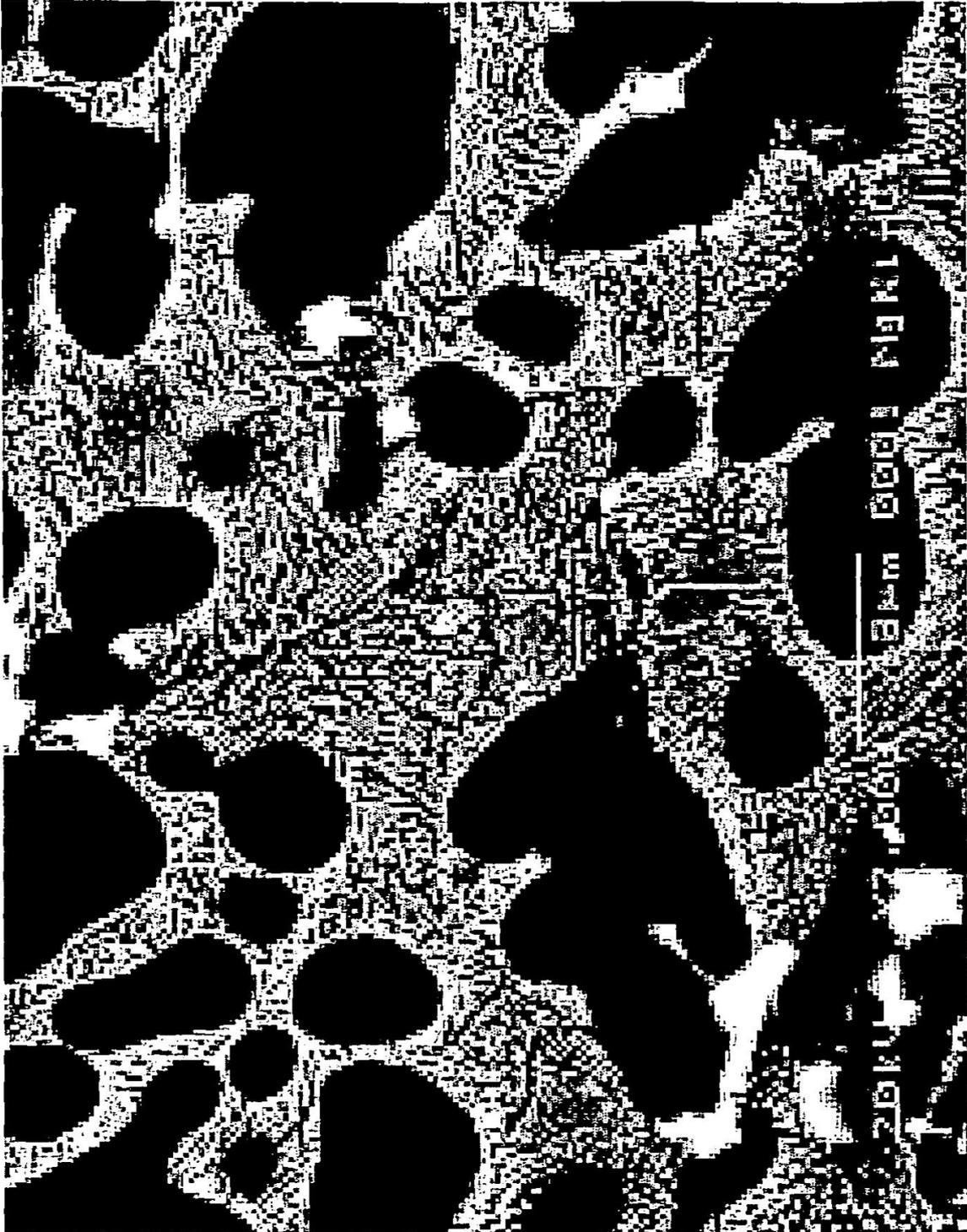


Figura 9(e)

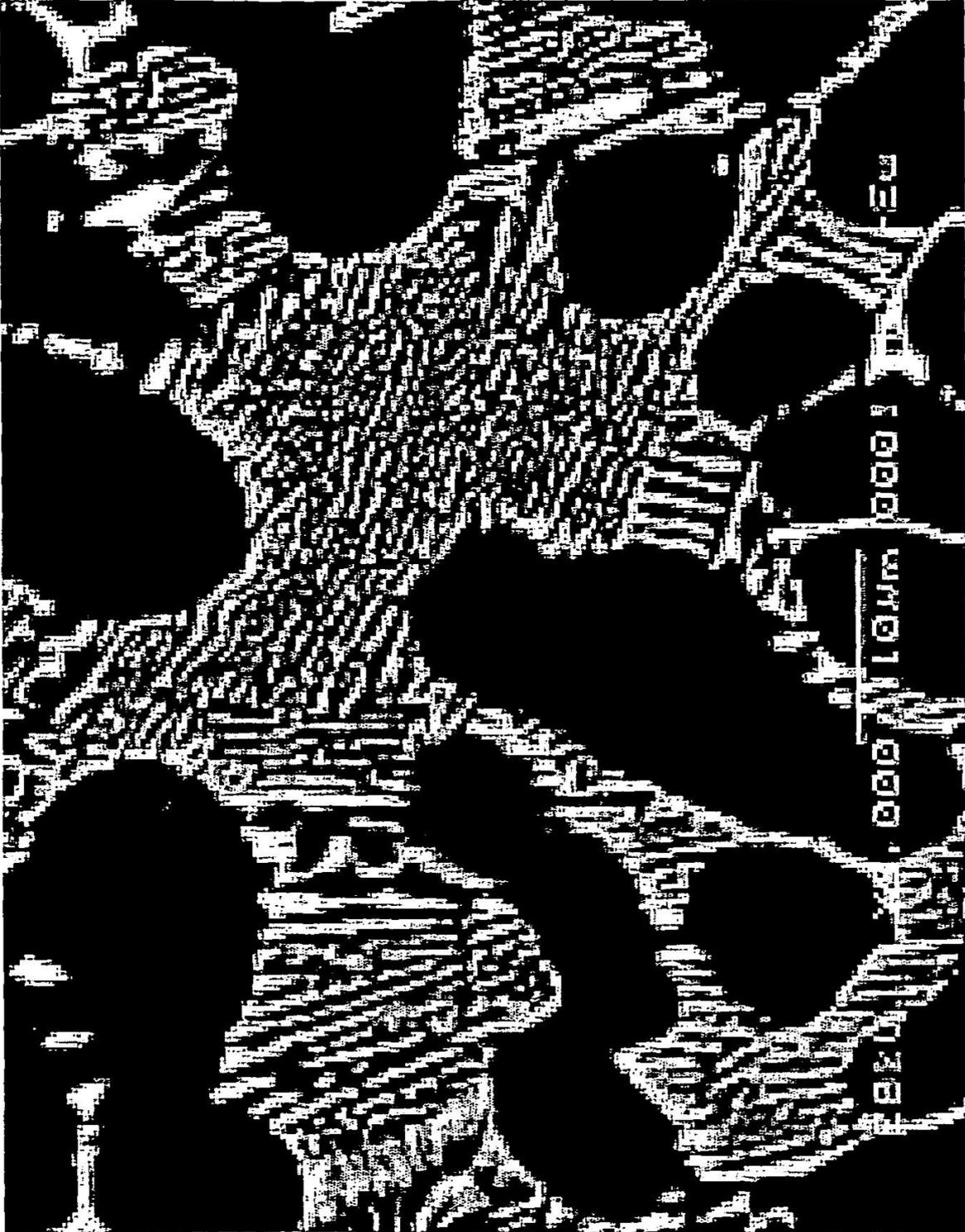


Figura 9(f)

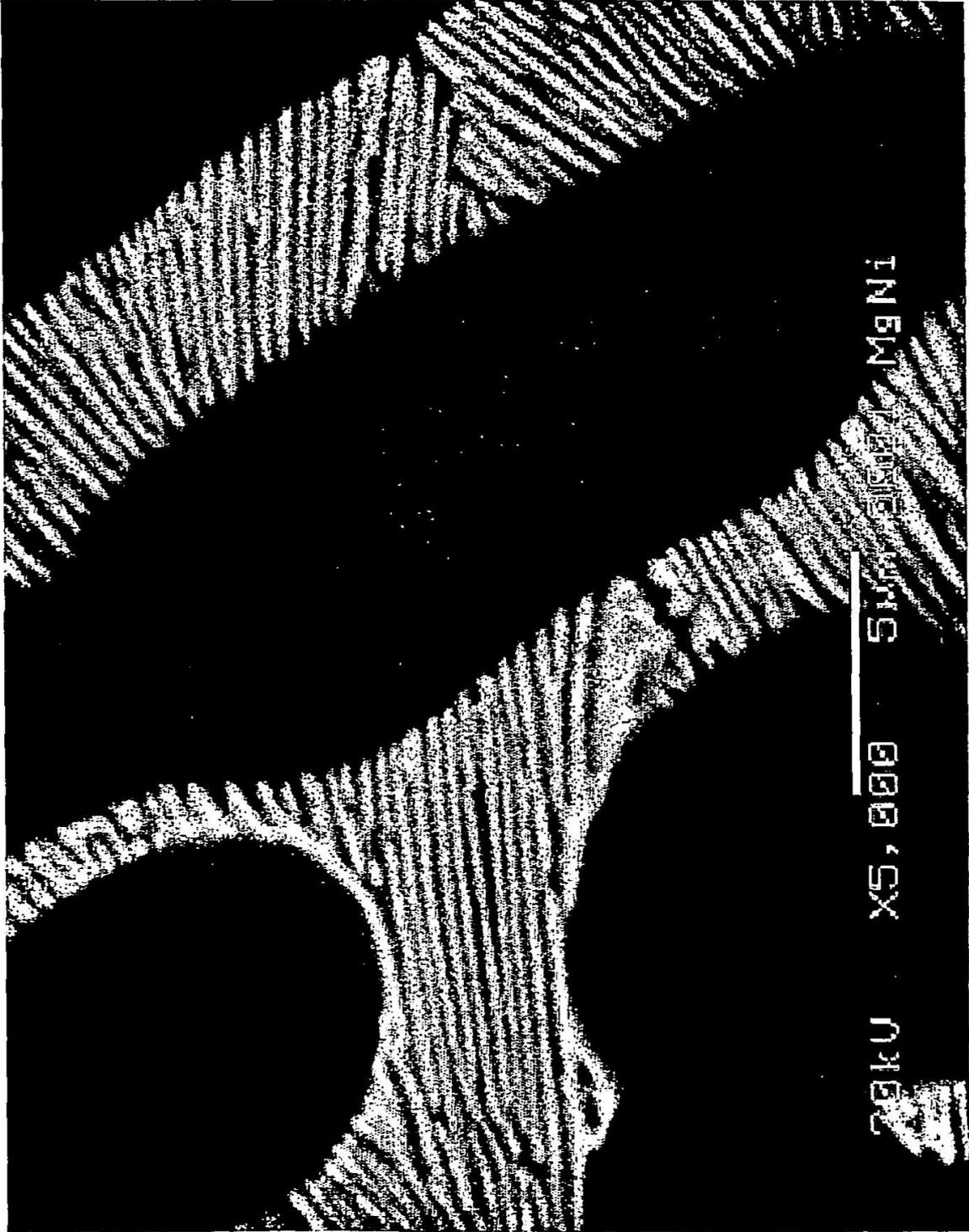


Figura 9(g)

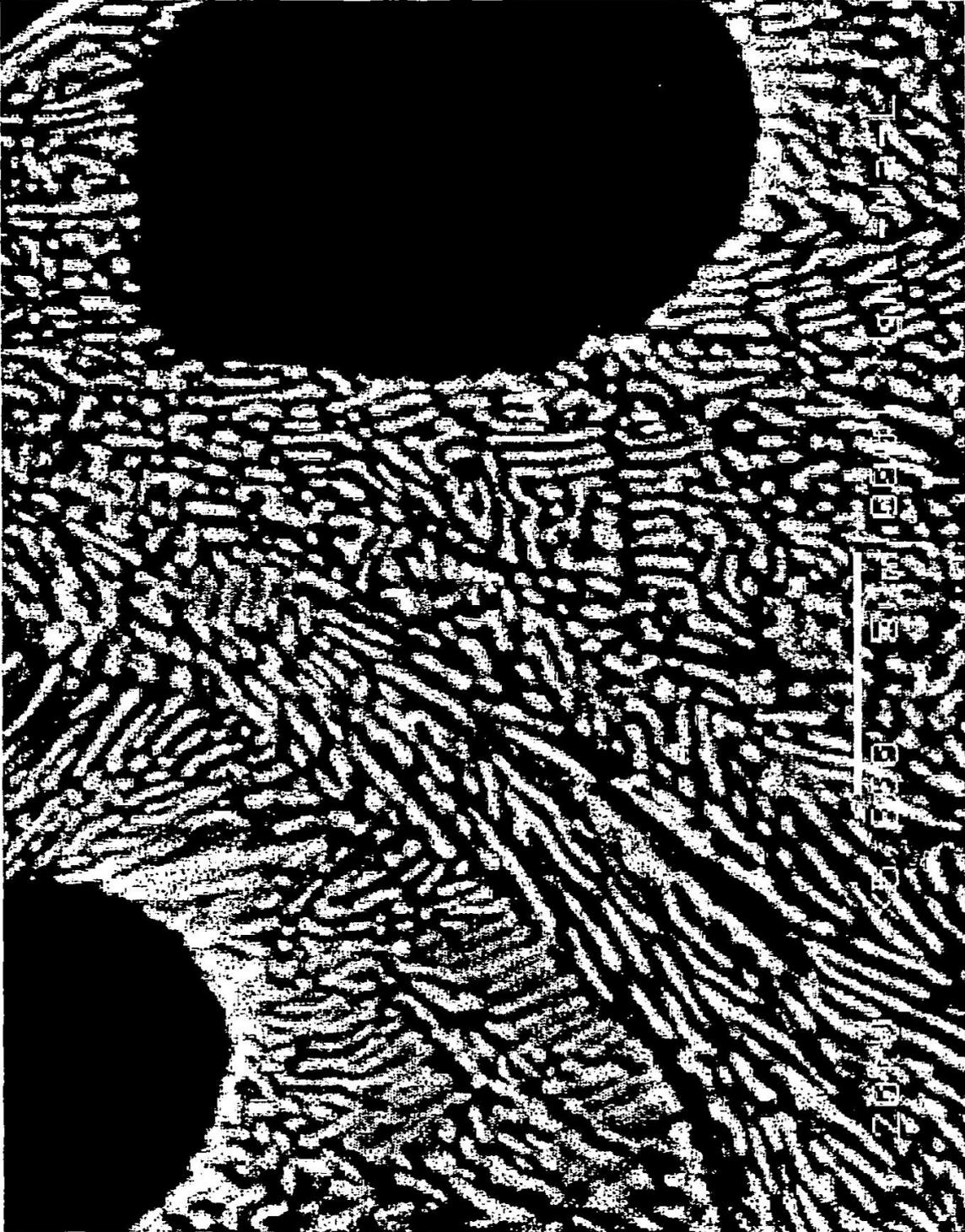


Figura 9(h)