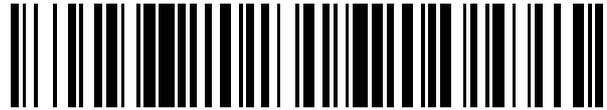


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 561 282**

51 Int. Cl.:

C01B 31/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2011** **E 11801363 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.01.2016** **EP 2589260**

54 Título: **Electrodo de grafito**

30 Prioridad:

01.07.2010 US 360822 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.02.2016

73 Titular/es:

**GRAFTECH INTERNATIONAL HOLDINGS INC.
(100.0%)
6100 Oak Tree Boulevard
Independence, Ohio 44131, US**

72 Inventor/es:

**COLEMAN, PHILIP D.;
MURRAY, GREG E.;
NAPOLITANO, MARCO;
TOMASEK, AARON;
BOWMAN, BRIAN;
KRASSOWSKI, DANIEL W. y
FRASTACI, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 561 282 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

Electrodo de grafito

Campo técnico

5 [0001] La presente divulgación se refiere a un artículo de grafito, por ejemplo, electrodos de grafito y especialmente a resistencia mejorada a la oxidación del grafito. Más particularmente, la divulgación se refiere a técnicas únicas para reducir la oxidación del artículo de grafito, tal como el electrodo de grafito, mientras el artículo está en uso, por ejemplo cuando el electrodo se encuentra en un horno eléctrico de arco.

Técnica antecedente

10 [0002] Los electrodos de grafito se utilizan en la industria de acero para fundir los metales y otros ingredientes utilizados para formar acero en hornos electrotérmicos. El calor necesario para fundir metales se genera al pasar corriente a través de uno o una pluralidad de electrodos, a menudo tres, y formar un arco entre los electrodos y el metal. A menudo se utilizan corrientes eléctricas superiores a 50.000 amperes. La temperatura alta resultante funde los metales y otros ingredientes. En general, los electrodos utilizados en hornos de acero consisten cada uno en columnas de electrodos, es decir, una serie de electrodos individuales unidos para formar una única columna. De esta manera, mientras los electrodos se reducen durante el proceso térmico, los electrodos de reemplazo pueden unirse a la columna para mantener la longitud de la columna que se extiende hacia el horno.

15 [0003] La fusión del metal puede producirse de un arco eléctrico entre la chatarra de metal y la punta de la columna de electrodos y el metal. Como parte de crear el arco, la corriente eléctrica se acumula en la columna de electrodos y, además de acumular la corriente, el calor también se acumula en la columna de electrodos mientras la corriente es acumulada. Adicionalmente, el calor puede ser desprendido del baño fundido de la chatarra de metal.

20 [0004] Más aun, el arco en sí genera grandes cantidades de calor próximas a la punta del electrodo. Con esta acumulación de calor, la punta de la columna de electrodos puede estar en el rango de temperatura de más de 3000°C.

25 [0005] Además de la aplicación de electricidad, la mayoría de los hornos incluye una aplicación química al baño tal como, a modo no taxativo, oxígeno, que es un componente químico típico que es incluido en dicha aplicación. Con la punta de la columna a la temperatura descrita anteriormente y la presencia de gases oxidantes, ésta tiende a crear un ambiente oxidante en el horno alrededor de la columna de electrodos. El documento DE102964 divulga un electrodo de carbón incluyendo un revestimiento de carburo de calcio.

Breve descripción

30 [0006] Una realización divulgada en la presente incluye un electrodo de grafito. El electrodo tiene un cuerpo de grafito que tiene una dirección axial y una dirección radial. El cuerpo de grafito incluye una superficie radial exterior. En la presente realización, preferiblemente una mayor parte de la superficie exterior tiene una superficie texturizada en la dirección axial. La superficie está texturizada de forma tal que, tras la aplicación de agua a la superficie texturizada, el agua exhibirá al menos una gotita de agua que tiene un ángulo de contacto de no más de 90° medido después de 10 segundos bajo condiciones controladas de temperatura ambiente típica de aproximadamente 25°C.

35 [0007] Otra realización divulgada en la presente también incluye un electrodo de grafito que tiene un cuerpo de grafito con una dirección axial y una dirección radial. El cuerpo de grafito incluye una superficie radial exterior. La superficie radial exterior puede incluir una porción texturizada, teniendo la porción texturizada una rugosidad de menos de aproximadamente 0,89 µm (35 micropulgadas).

40 [0008] Otra realización divulgada en la presente también incluye un electrodo de grafito que tiene un cuerpo de grafito con una dirección axial y una dirección radial. El cuerpo de grafito incluye una superficie radial exterior. La superficie radial exterior está texturizada de manera tal que, tras la aplicación de una gotita de agua a la porción texturizada, la gotita de agua tiene al menos 50 por ciento de su volumen original después de 30 segundos.

45 [0009] Otra realización divulgada en la presente también incluye un electrodo de grafito que tiene un cuerpo de grafito con una dirección axial y una dirección radial. El cuerpo de grafito incluye una superficie radial exterior. El electrodo incluye además al menos una capa de lámina de grafito flexible envuelta alrededor de al menos una mayor parte de la superficie radial exterior del electrodo.

50 [00010] Una realización adicional incluye un electrodo de grafito con un cuerpo de grafito que tiene una dirección axial y una dirección radial y el cuerpo de grafito tiene una superficie radial exterior. En la presente realización una masa de partículas de grafito exfoliadas se adhiere a la superficie radial exterior de los electrodos en una orientación tal que las partículas que componen la masa se distribuyen básicamente a lo largo de al menos una porción sustancial de la superficie radial exterior del electrodo.

[00011] Una realización adicional incluye un electrodo de grafito que tiene un cuerpo de grafito que tiene una dirección axial y una dirección radial. El cuerpo de grafito incluye una superficie radial exterior que se modifica de

manera tal que, tras la aplicación de agua a la superficie radial exterior, la superficie radial exterior exhibe propiedades hidrófilas y el cuerpo de grafito exhibe propiedades hidrófobas.

5 **[00012]** Además de las realizaciones de electrodos anteriores, en la presente se divulga un artículo de grafito que tiene una superficie exterior cubierta con un mallado de grafito. El mallado de grafito tiene una o más porciones con una densidad de 0,5. g/cc o menos. Los tipos de cuerpos de grafito que se consideran en la presente incluyen al menos grafito extruido, grafito isomoldeado, grafito moldeado, grafito de grano fino (que tiene un tamaño de grano promedio de menos de 50 micrones), grafito de grano superfino (que tiene un tamaño de grano promedio de menos de 10 micrones), grafito de grano ultrafino (que tiene un tamaño de grano promedio de menos de 5 micrones) y combinaciones de los mismos.

10 **[00013]** También se divulga una realización en la cual el electrodo tiene una superficie que facilita el flujo de agua a lo largo del electrodo. En una realización particular, el electrodo tiene una superficie hidrófoba en todo el tratamiento de una sustancia química.

Breve descripción de los dibujos

[00014]

15 La Figura 1 es una vista lateral parcial recortada de un electrodo.

La Figura 2 es una vista en perspectiva de un electrodo que tiene una superficie texturizada y una superficie convencional.

La Figura 3 es una vista lateral que muestra una gotita de agua y un ángulo de contacto.

La Figura 4 es una vista en perspectiva de un electrodo con un forro de grafito flexible.

20 La Figura 5 es una vista en sección a lo largo de 5-5 de la Figura 4.

La Figura 6A-6B muestra un proceso para preparar un electrodo de acuerdo con una realización divulgada en la presente.

Las Figuras 7A-7B son realizaciones alternativas de características que pueden agregarse a una realización de un electrodo divulgado en la presente.

25 La Figura 8 es una vista en perspectiva de un electrodo que tiene un revestimiento antioxidante en la superficie radial exterior del mismo.

La Figura 9 es una gráfica que muestra el porcentaje de volumen de agua con respecto al tiempo.

La Figura 10 es una vista lateral de una realización de una lámina de partículas comprimidas de grafito exfoliado.

30 La Figura 11 es una vista lateral esquemática de una segunda realización de una lámina de partículas comprimidas de grafito exfoliado.

La Figura 12 es una vista parcial de una sección de una superficie exterior de un electrodo que tiene una superficie exterior de acuerdo con una realización divulgada en la presente.

Descripción detallada de la realización preferida

35 **[00015]** Los electrodos de grafito pueden fabricarse mediante primero combinar una fracción de particulado que comprende coque calcinado, brea y opcionalmente, brea de mesofase o fibras de carbono en base a PAN en una mezcla maestra. Más específicamente, el coque de petróleo calcinado triturado, medido y molido se mezcla con un aglutinante de brea de alquitrán de hulla para formar la mezcla. El tamaño de partícula del coque calcinado se selecciona de acuerdo con el uso final del artículo y se encuentra en el conocimiento de los expertos en la técnica. En general, se emplean en la mezcla partículas de hasta aproximadamente 25 milímetros (mm) de diámetro promedio. La fracción particulada preferiblemente incluye una carga de tamaño de partícula pequeño que comprende polvo de coque. Otros aditivos que pueden incorporarse en la carga de tamaño de partículas pequeñas incluyen óxidos de hierro para inhibir el abullonado (provocado por la liberación de azufre de su enlace con carbono dentro de las partículas de coque), polvo de coque y aceites y otros lubricantes para facilitar la extrusión de la mezcla.

45 **[00016]** Las fibras de carbono (cuando se utilizan) están preferiblemente presentes a un nivel de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 6 partes en peso de fibras de carbono por 100 partes en peso de coque calcinado o a aproximadamente 0,4% a aproximadamente 5,5% en peso de los componentes de mezcla total (excluido el aglutinante). Las fibras preferidas tienen un diámetro promedio de aproximadamente 6 a aproximadamente 15 micrones y una longitud de preferiblemente aproximadamente 4 mm a aproximadamente 25 mm y más preferiblemente menos de aproximadamente 32 mm.

50

- 5 **[00017]** Opcionalmente, las fibras pueden agregarse después de que haya comenzado el mezclado de la fracción de particulado y brea. En efecto, en otra realización, las fibras se agregan después de que se haya completado al menos aproximadamente la mitad del ciclo de mezclado, y pueden agregarse más fibras después de que se haya completado al menos aproximadamente tres cuartos del ciclo de mezclado. Por ejemplo, si el mezclado de la fracción de particulado y brea demora dos horas (es decir, un ciclo de mezclado de dos horas), las fibras pueden agregarse después de una hora o incluso de noventa minutos de mezclado. Agregar las fibras después de que el mezclado ha comenzado ayudará a conservar la longitud de la fibra (que se puede reducir durante el proceso de mezclado) y, de este modo, a los efectos beneficiosos de la inclusión de las fibras, que se cree se relacionan directamente con la longitud de las fibras.
- 10 **[00018]** Como se indicó anteriormente, la fracción de particulado puede incluir una carga de tamaño de partícula pequeña (pequeña se utiliza aquí en comparación con el tamaño de partícula del coque calcinado, que en general tiene un diámetro tal que una fracción mayor del mismo pasa a través de un tamiz de malla de 25 mm pero no un tamiz de malla de 0,25 mm y en comparación con las cargas convencionalmente empleadas). Más específicamente, la carga de tamaño de partícula pequeña comprende al menos aproximadamente 75% de polvo de coque, por el cual se pretende que el coque tenga un diámetro tal que al menos aproximadamente 70% y más ventajosamente hasta aproximadamente 90%, pasará a través de un tamiz de malla 200 Tyler, equivalente a 74 micrones.
- 15 **[00019]** La carga de tamaño de partícula pequeña puede comprender además al menos aproximadamente 0,5% y hasta aproximadamente 25% de otros aditivos como un inhibidor de abullonado tal como óxido de hierro. De nuevo, el aditivo también puede emplearse a un tamaño de partícula menor que el utilizado convencionalmente. Por ejemplo, cuando se incluye óxido de hierro, el diámetro promedio de las partículas de óxido de hierro debería ser tal que sean más pequeñas que aproximadamente 10 micrones. Otro aditivo adicional que puede emplearse es polvo de coque de petróleo que tiene un diámetro promedio tal que son menores que aproximadamente 10 micrones, agregado para rellenar la porosidad del artículo y de este modo permitir un mejor control de la cantidad de aglutinante de brea utilizado. La carga de tamaño de partícula pequeña debería comprender al menos aproximadamente 30% y hasta aproximadamente 50% o incluso 65% de la fracción de particulado.
- 20 **[00020]** Después de que se prepara la mezcla de fracción de particulado, aglutinante de brea, etc. se forma (o se da forma a) el cuerpo mediante extrusión a través de dado o se moldea en moldes de formación convencionales para formar lo que se denomina un material verde. La formación, ya sea a través de extrusión o moldeado, se lleva a cabo a una temperatura cerca del punto de ablandamiento de la brea, a menudo aproximadamente 100°C o más. El dado o molde puede formar el artículo en forma y tamaño básicamente finales, aunque a menudo se necesita el maquinado del artículo final, por lo menos para proporcionar una estructura tal como roscas. El tamaño del material verde puede variar; para los electrodos el diámetro puede variar entre aproximadamente 220 mm y 900 mm.
- 30 **[00021]** Después de la extrusión, el material verde es tratado con calor mediante horneado a una temperatura entre aproximadamente 700°C y aproximadamente 1100°C, más preferiblemente entre aproximadamente 800°C y aproximadamente 1000°C, para carbonizar el aglutinante de brea a un coque de brea sólido para proporcionar al artículo permanencia de forma, alta resistencia mecánica, buena conductividad térmica y comparativamente baja resistencia eléctrica y de este modo formar un material carbonizado. El material verde se hornea en ausencia relativa de aire para evitar la oxidación. El horneado debe llevarse a cabo a una tasa de aproximadamente 1°C a aproximadamente 5°C de aumento por hora hasta la temperatura final. Después del horneado, el material carbonizado puede impregnarse una o más veces con alquitrán de hulla o brea de petróleo u otros tipos de breas o resinas conocidos en la industria, para depositar coque adicional en cualquier poro abierto del material. Cada impregnación es seguida luego por un paso de horneado adicional.
- 35 **[00022]** Después del horneado, el material carbonizado se grafito. La grafitación se realiza mediante tratamiento térmico a una temperatura final de entre aproximadamente 2500°C a aproximadamente 3400°C durante un tiempo suficiente para provocar que los átomos de carbono en el coque y el aglutinante de coque de brea se transformen de un estado poco ordenado a la estructura cristalina de grafito. De manera ventajosa, la grafitación se realiza al mantener el material carbonizado a una temperatura de al menos aproximadamente 2700°C, y de manera más ventajosa a una temperatura de entre aproximadamente 2700°C y aproximadamente 3200°C. A estas altas temperaturas, se volatilizan los elementos que no sean carbono y se escapan como vapores. El tiempo requerido para mantener el electrodo a la temperatura de grafitación utilizando el proceso divulgado en la presente puede ser no mayor que aproximadamente 18 horas, en algunas instancias no mayor que aproximadamente 12 horas. En otras instancias, la grafitación puede ser durante aproximadamente 1,5 a aproximadamente 8 horas. Una vez que se completa la grafitación, el cuerpo del electrodo finalizado puede cortarse al tamaño y luego maquinarse o formarse de otro modo en su configuración final.
- 50 **[00023]** Con referencia ahora a la Figura 1, se muestra un electrodo de grafito y se indica en general con el número 10. El electrodo 10 incluye un cuerpo principal 12, preferiblemente construido de grafito formado de acuerdo con la descripción anterior. El cuerpo 12 es en general cilíndrico con una dirección axial representada por la flecha A y una dirección radial representada por la flecha R. El cuerpo 12 incluye además una superficie exterior radial 14 y caras de los extremos opuestas 15. Las caras de los extremos 15 se utilizan típicamente para proporcionar un medio para conectar un electrodo a otro y, por lo tanto, no se exponen a las mismas condiciones de oxidación graves que la superficie exterior 14.
- 60

[00024] Tal como se muestra en la Figura 2, la superficie exterior **14** puede tener una porción texturizada **16** y una porción no texturizada **18**. La mayor parte de la superficie exterior radial **14** puede texturizarse. Alternativamente, básicamente toda la superficie exterior radial **14** puede texturizarse. La porción texturizada **16** puede tener una superficie tal que, tras la aplicación de agua a la superficie texturizada, el agua exhibirá al menos una gotita de agua que tiene un ángulo de contacto de no más de aproximadamente 90° . El ángulo de contacto puede ser de no más de 85° . Preferiblemente el ángulo de contacto puede ser cualquier ángulo menor que 90° y mayor que 0° .

[00025] La porción texturizada **16** puede tener una superficie tal que tras la aplicación de una gotita de agua a la superficie texturizada, el volumen de una gotita de agua, después de 30 segundos es al menos 50 por ciento del volumen original. El volumen de gotita de agua después de 30 segundos puede ser al menos 70 por ciento del volumen original. El volumen de gotita de agua después de 30 segundos puede ser al menos 80 por ciento del volumen original. El volumen de gotita de agua después de 40 segundos puede ser al menos 40 por ciento del volumen original. El volumen de gotita de agua después de 40 segundos puede ser al menos 50 por ciento del volumen de gotita de agua original. El volumen de gotita de agua después de 40 segundos puede ser al menos 60 por ciento del volumen de gotita de agua original. El volumen de gotita de agua después de 90 segundos puede ser al menos 20 por ciento del volumen original. El volumen de gotita de agua después de 90 segundos puede ser al menos 50 por ciento del volumen de gotita de agua original. El volumen de gotita de agua después de 90 segundos puede ser al menos 70 por ciento del volumen de gotita de agua original. Las condiciones para medir el cambio de volumen pueden ser las condiciones ambiente, siendo aproximadamente 25°C y aproximadamente 50% o menos de humedad relativa. Las propiedades anteriores se miden en condiciones ambiente.

[00026] Con referencia ahora a la Fig. 3, el ángulo de contacto θ , es el ángulo formado por un líquido (L) en el límite de tres fases donde el líquido, gas y sólido se intersectan. El ángulo de contacto θ depende de las tensiones interfaciales entre el gas y líquido, el líquido y sólido, y gas y sólido. El ángulo de contacto θ puede medirse, por ejemplo, mediante un goniómetro que mide un ángulo de contacto de una gotita utilizando la suposición que la gotita se ajusta a la geometría de una esfera, elipsoide o la ecuación de Young-Laplace. El ángulo de contacto puede medirse a aproximadamente 25°C .

[00027] Las técnicas que pueden utilizarse para crear una porción texturizada **16** incluyen al menos uno de mordentado, pulido, maquinado, bruñido, lijado y combinaciones de los mismos. Preferiblemente, la porción texturizada **16** se texturiza puliendo para promover el flujo de agua en la dirección axial a lo largo de la columna. La textura puede aplicarse en la dirección axial. Por ejemplo, puede aplicarse una carrera de lijado o de pulido en una dirección axial a lo largo de la superficie radial exterior.

[00028] Pueden utilizarse técnicas adicionales para formar la porción de superficie texturizada **16**. Puede utilizarse una herramienta para raspar la superficie exterior **14** del electrodo **10**. La superficie **14** puede rasparse en la dirección axial desde la cara del extremo diseñada para la parte superior del electrodo a la cara del extremo diseñada como la parte inferior del electrodo **10**. La parte superior e inferior del electrodo están relacionadas con cómo está orientado el electrodo mientras está en uso como parte de una columna de electrodos. El raspado puede formar un patrón de grano ranurado a lo largo de la superficie **14**, con los dientes extendiéndose en una dirección hacia abajo tal como se muestra en la Figura 12.

[00029] La superficie **14** puede rasparse de manera de facilitar el flujo de líquido a lo largo de la superficie **14** del electrodo **10**, mientras el electrodo **10** está en servicio como parte de una columna de electrodos. Más aun, la superficie **14** puede rasparse de modo de aumentar cualquiera o ambos de los flujos de agua a lo largo de la superficie **14** de electrodos **10** o la velocidad a la cual el agua viaja a lo largo de la superficie **14** de electrodos **10**.

[00030] Tal como se indicó anteriormente y en la presente se utiliza agua solo como una realización ejemplar de un líquido de enfriamiento. Las realizaciones divulgadas no están limitadas al uso de agua como el líquido de enfriamiento. Se pueden utilizar otros fluidos como el líquido de enfriamiento además de agua o puede utilizarse el agua en conjunto con otros compuestos. Por ejemplo el líquido de enfriamiento, tal como agua, puede incluir un agente tensioactivo. Un ejemplo de un agente tensioactivo puede incluir jabón.

[00031] La porción texturizada **16** del electrodo **10** puede formarse mediante la aplicación de una sustancia química a la superficie **14** del electrodo **10**. Preferiblemente, la sustancia química puede ser un cemento de carbono que se puede grafitar. Alternativamente, la sustancia química puede ser una brea. Breas ejemplares incluyen ya se una brea de impregnación, una brea aglutinante o cualquier otro tipo de brea que se pueda grafitar. Estos diversos ejemplos de sustancias químicas pueden utilizarse en cualquier combinación de los mismos. La sustancia química puede aplicarse en un proceso de humectación, tal como mediante inmersión o laminación del electrodo **10** en un baño de la sustancia química o mediante un proceso de impregnación. Antes de la aplicación de la sustancia química a la superficie **14**, el electrodo **10** se grafita preferiblemente. Opcionalmente, la tecnología de conexión puede o no haber sido maquinada en el electrodo **10** antes de la aplicación de la sustancia química. El electrodo **10** puede haber exhibido su densidad deseada antes de la aplicación de la sustancia química.

[00032] La sustancia química tal como se describió anteriormente no está limitada a brea o el cemento de carbono. Puede utilizarse cualquier material hidrófobo como la sustancia química.

[00033] Preferiblemente, una vez que se aplica la sustancia química a la superficie **14** del electrodo **10** y la sustancia

química se cura opcionalmente, si es apropiado para la sustancia química particular, la superficie 14 del electrodo 10 no se procesa adicionalmente. Por ejemplo, si la sustancia química es brea, antes del uso del electrodo 10 con una superficie 14 que ha sido tratada con brea, se prefiere que el electrodo 10 no se someta a ningún paso de calentamiento que carbonizaría la brea antes que se agregue el electrodo 10 a una columna de electrodos.

5 **[00034]** Una rugosidad superficial de porción texturizada 16 puede ser menor que aproximadamente 0,89 μm (35 micropulgadas) o menor que aproximadamente 0,76 μm (30 micropulgadas); o menor que aproximadamente 0,64 μm (25 micropulgadas); o menor que 0,51 μm (20 micropulgadas). La rugosidad superficial de la porción 16 puede ser de aproximadamente 0,38 μm (15 micropulgadas) o menos.

10 **[00035]** Se puede utilizar un Probador de Rugosidad Superficial ("Probador") de Fase II TR100 para determinar la rugosidad superficial. La rugosidad superficial puede determinarse utilizando el Probador en más de una ubicación de la porción texturizada 16. En una realización, el Probador puede utilizar un algoritmo de raíz cuadrada media ("RMS") para calcular la rugosidad superficial. Sin embargo, cualquier algoritmo adecuado puede utilizarse para calcular la rugosidad superficial. Un ejemplo no taxativo de otro algoritmo es una media aritmética.

15 **[00036]** En cuanto al líquido de enfriamiento, también denominado agua, puede aplicarse el líquido de enfriamiento a la superficie 14 del electrodo 10 en cualquier manera preferida. En una realización, el líquido se rocía sobre la superficie 14 en más de un punto circunferencial, típicamente cuatro (4) o más puntos. En una realización adicional, pueden utilizarse boquillas atomizadoras para aplicar el líquido de enfriamiento al electrodo 10. En otra realización, el líquido de enfriamiento puede aplicarse al electrodo 10 en un patrón de rocío o un patrón similar a un abanico.

20 **[00037]** Con referencia ahora a las Figs. 4 y 5, se muestra un electrodo 20 de acuerdo con otra realización. El electrodo 20 incluye un cuerpo de grafito 22 que tiene una dirección axial (A) y una dirección radial (R). El cuerpo 22 incluye además una superficie exterior radial 24 y caras de los extremos opuestas 25. En lugar de una porción texturizada o junto con la porción texturizada, el electrodo 20 incluye una o más capas de grafito flexible 26 dispuestas alrededor de al menos una mayor parte de la superficie radial exterior 24 del electrodo 20. De acuerdo con una realización, la o las capas de grafito flexible 26 pueden formarse a partir de una lámina unitaria de grafito flexible. De acuerdo con otra realización, la o las capas de grafito flexible pueden formarse a partir de una pluralidad de láminas de grafito flexible.

25 **[00038]** En realizaciones que incluyen una pluralidad de láminas de grafito flexibles, las láminas de grafito flexibles pueden formarse a partir del mismo material de partida o de diferentes materiales de partida. En una realización, una lámina o grafito flexible se forma a partir de una masa comprimida y/o calandrada de partículas exfoliadas de grafito natural. Una técnica ejemplar para preparar grafito flexible se divulga en la Patente de los Estados Unidos 3404061. En otra realización, puede formarse una lámina de grafito flexible a partir de película de poliimida, tal como se describe en la Patente de los Estados Unidos 5091025. Pueden utilizarse Combinaciones de los tipos antemencionados de grafito flexible. Una fuente para el grafito flexible anterior de partículas intercaladas y exfoliadas de grafito natural es GrafTech International Holdings Inc. Opcionalmente, la o las capas de grafito 26 pueden incluir un antioxidante incorporado en una o más láminas de grafito. El antioxidante puede incorporarse en dicha lámina durante la producción de la lámina.

30 **[00039]** Con referencia ahora a las Figuras 6A-6B, el electrodo 20 puede formarse de la siguiente manera. Tal como se muestra en la Fig. 6A, el cuerpo de grafito 22 se forma de acuerdo con los métodos descritos anteriormente. Después de que se forma el cuerpo de grafito 22, los elementos de conexión 21 pueden maquinarse en una o ambas caras de los extremos 25. Cualquier técnica de conexión conocida, tal como receptáculo (como se muestra) o una espiga, puede maquinarse en la cara del extremo 25 del cuerpo de grafito 22.

35 **[00040]** Opcionalmente, puede aplicarse un tratamiento de adherencia a la superficie en la superficie radial exterior 24 para promover la adherencia del grafito flexible 26 al cuerpo del electrodo 22. Tal como se muestra en la Figura 6A, el tratamiento de adherencia a la superficie puede incluir uno o más listones 30 (ver la Fig. 7A) cortados en la superficie exterior de 24 del electrodo 20. Los listones 30 pueden tener en general una forma de U alargada en la sección transversal y puede extenderse axialmente, circunferencialmente o en un patrón de espiral. Preferiblemente los listones 30 están dispuestos a lo largo de toda la superficie radial exterior 24, cuya capa 26 se va a disponer. Más preferiblemente, ambos listones 30 y la capa 26 están dispuestos a lo largo de al menos una mayor parte de la superficie radial exterior 24 e incluso más preferiblemente básicamente toda la superficie radial exterior 24.

40 **[00041]** Tal como se muestra en las Figuras 7B, los listones 30 pueden estar alternativamente cortados en cola de milano. El corte de cola de milano, por ejemplo, puede estar a 60 grados y 3,18 mm (1/8 pulgadas) por 14,0 mm (0,055 pulgadas), cuatro por lado. En otra realización, la cola de milano puede ser 4,76 mm (3/16 pulgadas) por 22,86 mm (0,090 pulgadas). En otra realización, la cola de milano puede ser 4,76 mm (3/16 pulgadas) por 14,0 mm (0,055 pulgadas). El corte de cola de milano no se limita a ninguna dimensión particular. Más aun el tratamiento de adherencia a la superficie no está limitado sólo a aquellas formas ilustradas en las Figuras 7A y 7B. Puede utilizarse cualquier forma que puede mejorar la adherencia de la capa 26 a la superficie exterior 24. Aun más, puede utilizarse cualquier forma y patrón de corte. Por ejemplo, una pluralidad de listones 30 pueden estar igualmente separados y cortados en la dirección axial o una pluralidad de listones 30 están igualmente separados y se cortan en una dirección en espiral.

[00042] En otra realización, la superficie exterior 24 del electrodo 20 incluye una pluralidad de ranuras. Una o más de las ranuras, en algunos casos todas las ranuras, están diseñadas para permitir que la lámina de grafito 26 se trabee mecánicamente a la superficie exterior 24 del electrodo 20.

5 **[00043]** En una realización, las ranuras, muescas, etc. tiene una profundidad de al menos aproximadamente 0,13 mm (0,005"), opcionalmente, las ranuras, muescas, etc. pueden tener una profundidad de no más de 6,35 mm (0,250"). En una realización adicional, la profundidad de las ranuras, muescas, etc. son no mayores que aproximadamente 0,06% a aproximadamente 2,5% del radio del electrodo 20. Cuando se aplica al electrodo 20, el mallado 26 puede tener un espesor de al menos aproximadamente 0,79 mm (1/32"), preferiblemente al menos aproximadamente 1,59 mm (1/16"), más preferiblemente al menos aproximadamente 3,18 mm (1/8"), incluso más
10 preferiblemente al menos aproximadamente 6,35 mm (1/4"). Para una realización dada, en términos de profundidad de la ranura, el espesor del mallado 26 en el electrodo 20 puede estar en el rango de 12,5% a 5000% de la profundidad de la ranura.

15 **[00044]** Cualquiera o todos los listones, ranuras, muescas, etc. anteriores en cualquiera de las realizaciones anteriores pueden disponerse en un modo de espiral, de modo longitudinal, básicamente verticales, de modo básicamente horizontal, de modo no curvado 24 o cualquier combinación de los mismos. Alternativamente, si la realización incluye listón, ranura, muesca, etc. en un modo de espiral, el electrodo 20 puede incluir uno (1) de dicho listón, ranura o muesca o más de uno (1). En una realización particular, la frecuencia de las ranuras 30 es no mayor que cuatro (4) por 25,4 mm lineales (1 pulgada lineal) de circunferencia de la superficie 24 del electrodo 30. En otra
20 realización, la superficie 24 puede incluir una (1) ranura 30 por cada 76,2 mm (tres (3) pulgadas lineales) de circunferencia de la superficie 24 del electrodo 20. En realizaciones adicionales, el número de ranuras 30 alrededor de la circunferencia del electrodo 20 puede ser uniforme o puede variar. En una realización adicional, la distancia entre ranuras adyacentes 30 puede ser uniforme o puede variar. En una realización particular, la distancia entre ranuras adyacentes 30 puede ser no mayor que aproximadamente 1/4" hasta aproximadamente 3".

25 **[00045]** Después del tratamiento opcional de adherencia a la superficie, un adhesivo puede aplicarse a la superficie radial exterior 24 antes de la aplicación de grafito flexible 26. Aquí se utiliza un adhesivo en un sentido general. Tal como se utiliza en la presente el adhesivo puede incluir un cemento que se utiliza para la unión de bloques de carbono y/o grafito. Preferiblemente el adhesivo se carboniza y grafito adicionalmente. Alternativamente, el adhesivo puede ser un adhesivo con carga. Los ejemplos de tipos preferidos de cargas incluyen partículas de carbono y/o grafito. En una realización adicional que no se muestra, antes o después de la aplicación del adhesivo, puede
30 aplicarse un antioxidante a la superficie radial exterior 24 del electrodo 20. En una realización particular, el antioxidante puede estar en la forma de un polvo. Un ejemplo no taxativo de antioxidantes adecuados incluye al menos los siguientes: fosfato, carburo de silicio, nitruro de boro, carburo de titanio, dióxido de titanio, alúmina, silicato de aluminio, óxido de magnesio, siliciuro de molibdeno y combinaciones de los mismos.

35 **[00046]** Ahora con referencia a la Fig. 6B, después de que se aplica el tratamiento de adherencia a la superficie y o adhesivos, la capa de grafito flexible 26 puede aplicarse a la superficie radial exterior 24 del electrodo 20. Tal como se describió anteriormente, si se desea el uso de un antioxidante, el antioxidante puede incorporarse en una o más de las láminas de grafito flexible 26 y/o aplicarse a la superficie exterior 24.

40 **[00047]** En una realización particular del electrodo 20, el espesor general del grafito flexible 26 es no mayor que aproximadamente un tercio (1/3) del diámetro del electrodo 20. En una realización adicional, el espesor del grafito flexible 26 es no mayor que aproximadamente 50,8 mm (dos (2") pulgadas). Preferiblemente, cada lámina de grafito flexible tiene una densidad no mayor que aproximadamente 2,0 g/cc o menos y más preferiblemente no mayor que aproximadamente 1,6 g/cc o menos, incluso más preferiblemente no mayor que 1,2 g/cc. En una realización
adicional una lámina tiene una densidad de aproximadamente 1,0 g/cc o menos.

45 **[00048]** En otra realización particular, el espesor de al menos una, hasta todas las láminas del mallado de grafito es no mayor que 12,7 mm (1/2"); en una realización adicional es no mayor que 8,47 mm (1/3") y en una realización adicional es no mayor que 6,35 mm (1/4").

50 **[00049]** En una realización adicional, al menos una, hasta todas las láminas del mallado de grafito tienen al menos una porción de la lámina que tiene una densidad de no más de 0,5 g/cc, además no más de 0,45 g/cc, incluso además no más de 0,4 g/cc, incluso no más de 0,3 g/cc, y finalmente no más de 0,2 g/cc. En una realización
adicional, el mallado de grafito incluye al menos una pluralidad de porciones que tienen una densidad no mayor que 0,5 g/cc, preferiblemente menor que 0,5 g/cc, incluso más preferiblemente menor que 0,4 g/cc. En ciertas realizaciones, al menos antes de la aplicación del mallado de grafito al electrodo 20 al menos una mayoría, si no todo el mallado tiene una densidad de 0,5 g/cc o menos, preferiblemente 0,4 g/cc o menos. Los números de
55 densidad anteriores son ejemplares y todos los números entre los ejemplos divulgados en la presente deben considerarse divulgados.

[00050] Para cualquier realización particular que utiliza múltiples láminas del mallado de grafito, las densidades de varias láminas utilizadas pueden mezclarse y hacerse coincidir en cualquier combinación de las realizaciones anteriores.

[00051] En una realización particularmente preferida, el mallado de grafito (también denominado lámina) es una

lámina de grafito de baja densidad que forma la capa protectora exterior en el cuerpo del electrodo 20. En la presente realización, el mallado de grafito de baja densidad tiene una densidad de 0,5 g/cc o menos en al menos una o más porciones, preferiblemente la lámina entera. En una realización más preferida la lámina de grafito de baja densidad tiene una densidad de 0,2 g/cc o menos. En otras realizaciones la lámina de grafito de baja densidad tiene una densidad de 0,1 g/cc o menos. En otras realizaciones, la lámina de grafito de baja densidad es de entre 0,05 y 0,3 g/cc. En otras realizaciones, la lámina de grafito de baja densidad es de entre 0,1 y 0,2 g/cc. En una realización, la lámina de grafito de baja densidad es menor que 19,05 mm (3/4" pulgadas) de espesor. En otra realización, la lámina de grafito de baja densidad es menor que 12,7 mm (1/2" pulgadas) de espesor. En una realización la lámina de grafito de baja densidad tiene entre 6,35 mm y 19,05 mm (1/4" y 3/4" pulgadas) de espesor. En otra realización, la lámina de grafito de baja densidad tiene entre 10,16 y 15,24 mm (0,4 y 0,6 pulgadas) de espesor. En una realización particularmente preferida, la lámina de grafito de baja densidad tiene aproximadamente 12,7 mm (1/2" pulgadas) de espesor y tiene una densidad de aproximadamente 0,1 g/cc.

[00052] En realizaciones adicionales, el mallado de grafito descrito anteriormente puede tener una densidad de no más de aproximadamente 0,4 g/cc. Un ejemplo no taxativo de un límite inferior para la densidad puede ser aproximadamente 0,05 g/cc o más, además no menor que 0,1 g/cc. Todas las densidades entre 0,4 g/cc y 0,05 g/cc pueden utilizarse para poner en práctica las realizaciones divulgadas. Ejemplos de dichas densidades incluyen 0,38g/cc o menos, 0,35 g/cc o menos, 0,28 g/cc o menos, 0,24 g/cc o menos, 0,18 g/cc o menos, y 0,15 g/cc o menos.

[00053] La lámina de grafito de baja densidad descrita anteriormente puede caracterizarse como compresible y deformable. Por lo tanto, la densidad y espesor descritos anteriormente son ilustrativos de las propiedades/dimensiones antes de la aplicación al electrodo de grafito. En una realización, la lámina de grafito de baja densidad es compresible en el cuerpo de grafito 20. Por lo tanto, durante la unión al cuerpo de grafito 20, la lámina de grafito de baja densidad se deforma y comprime. En una realización, la lámina de grafito de baja densidad se comprime a menos de la mitad del espesor original. En otras realizaciones, la lámina de grafito de baja densidad se comprime a menos de 1/4 del espesor original. En otras realizaciones, la lámina de grafito de baja densidad se comprime a menos de 1/8 del espesor original en su punto más fino. Cuando se comprime la lámina de grafito de baja densidad en el electrodo se aumenta la densidad. Por lo tanto, en una realización, después de la compresión en el cuerpo del electrodo 20, la lámina de grafito de baja densidad tiene dos veces la densidad original. En otras realizaciones, después de la compresión en el cuerpo del electrodo 20, la lámina de grafito de baja densidad tiene cuatro veces la densidad original. En otras realizaciones, después de la compresión en el cuerpo del electrodo 20, la lámina de grafito de baja densidad tiene 8 veces la densidad original. En estas u otras realizaciones la lámina de grafito de baja densidad, después de la compresión en el cuerpo del electrodo 20, tiene al menos una porción de la lámina que tiene una densidad de no más de aproximadamente 1,0 g/cc. En otras realizaciones, la densidad de al menos una porción del mallado comprimido puede no ser más de 0,8 g/cc, preferiblemente no más de 0,5 g/cc. En otras realizaciones, la lámina de grafito de baja densidad, después de la compresión en el cuerpo del electrodo 20, tiene una densidad de menos de 0,4 g/cc.

[00054] En el caso que se utilicen los listones, ranuras o muescas antemencionados para ayudar a adherir el mallado 26 al cuerpo 20, la densidad del mallado 26 puede variar a lo largo de la circunferencia del electrodo 20. Por ejemplo, para esa porción del mallado de grafito dispuesta en las ranuras, etc. el mallado 26 cuando se comprime en el electrodo 20 tendrá una densidad más baja en comparación con las porciones del mallado 26 comprimidas a lo largo de la superficie exterior del electrodo 20 que no incluye las ranuras, etc. anteriores.

[00055] En otra realización, la densidad del mallado 26 cuando se comprime alrededor del electrodo 20 puede variar. Dicha densidad puede variar uniformemente o aleatoriamente.

[00056] De esta manera, la lámina de grafito de baja densidad comprimida se deforma y se asegura al cuerpo del electrodo. Debe apreciarse que, si el cuerpo del electrodo 20 incluye listones o colas de milano 20 descritos anteriormente u otras características de la superficie, la lámina de grafito de baja densidad puede al menos ingresar o ser recibida parcialmente en los listones 30. Esto mejora la unión mecánica entre el cuerpo del electrodo 20 y la lámina de grafito de baja densidad. En estas u otras realizaciones, pueden proporcionarse adhesivos entre la lámina de grafito de baja densidad y el cuerpo del electrodo. Además, los revestimientos antioxidantes pueden proporcionarse entre la lámina de grafito y el cuerpo del electrodo 20 antes de la unión al mismo.

[00057] En cierta realización de la lámina 26, los bordes de la lámina 26 incluyen una junta a rebajo, como se muestra en la Figura 10. En la presente realización, se prefiere que cada sección de borde de la lámina 26 que estará adyacente a otra sección de borde de la lámina 26 en el electrodo 20 coincida con las otras mediante el uso de juntas a rebajo coincidentes. En otra cierta realización, en lugar de utilizar los cortes a rebajo, las secciones de borde coincidentes pueden cortarse en bisel como se muestra en la Figura 11. Cualquier tipo de junta de empalme entre las secciones de borde adyacentes de la lámina 26 se encuentra dentro del alcance de las realizaciones descritas en la presente. Además, cualquier unión o arreglo de las secciones de borde del mallado 26 que permite que las secciones de borde coincidan pero no resulte en las porciones coincidentes que tengan un espesor mayor que el espesor de la lámina 26 se encuentra dentro del alcance de lo que se define en la presente. En otra realización alternativa, las secciones de borde adyacentes de la lámina 26 hacen tope una con la otra. En una realización alternativa adicional, las secciones de borde de la lámina 26 pueden superponerse entre sí.

[00058] Alternativamente, en lugar de utilizar el mallado de grafito anterior, pueden utilizarse las láminas de poliimida grafitadas o, alternativamente, las láminas de mallado de grafito y poliimida grafitada en combinación o un compuesto del mallado de grafito y lámina de poliimida grafitada.

5 **[00059]** En una realización alternativa adicional, en lugar de envolver el mallado de grafito 26 alrededor del cuerpo del electrodo de grafito 22, se dispone una pluralidad de partículas de grafito exfoliado a lo largo de la superficie radial exterior 24 del electrodo para formar una capa de grafito exfoliado. De acuerdo con una realización, la pluralidad de partículas de grafito exfoliadas se comprime contra el cuerpo del electrodo 24 para adherirse a las partículas del mismo y formar la capa de grafito exfoliado. Preferiblemente la capa de grafito exfoliado cubre al menos una porción sustancial de la superficie exterior radial 24. Opcionalmente, el electrodo 20 puede incluir una
10 capa antioxidante en la superficie exterior radial 24 del electrodo. En una realización alternativa, el antioxidante se incorpora a la lámina 26 o al lecho de partículas a ser aplicadas a la superficie radial exterior 24. Además o en lugar del antioxidante puede incorporarse un tensioactivo a la lámina 26 o al lecho de partículas a ser aplicadas a la superficie radial exterior 24.

15 **[00060]** Con respecto al antioxidante, otra realización puede incluir el uso de alternar alrededor de la superficie 24 del electrodo 20 una superficie de un antioxidante y luego una lámina de mallado de grafito 26 o viceversa. En una realización, se aplica una lámina de mallado de grafito 26 a la superficie 24 del electrodo 20. Luego puede aplicarse una capa de antioxidante a la superficie exterior de la lámina 26. La aplicación de láminas 26 y capas de antioxidante pueden repetirse tantas veces como lo desee el usuario. En una variación de la presente realización, la capa de antioxidante puede aplicarse primero en lugar de la lámina 26 y luego la lámina 26. En esta variación, las capas de
20 antioxidante y láminas 26 pueden aplicarse también tantas veces se desee.

[00061] Se debe apreciar que la adición de capas de grafito exfoliado y/o grafito flexible al núcleo del electrodo 22 puede realizarse para aumentar el diámetro del electrodo 20. Por ejemplo, un electrodo de 762 mm (30 pulgadas) de diámetro puede realizarse utilizando un cuerpo de electrodo 22 de grafito de 660,4 mm (26 pulgadas) de diámetro y aplicando una capa de 50,8 mm (dos pulgadas) de grafito exfoliado y/o mallado de grafito 26. En un ejemplo
25 adicional, un electrodo de 812.8 mm (32 pulgadas) de diámetro o mayor puede realizarse utilizando un cuerpo de electrodo de grafito 22 de 762 mm (30 pulgadas) de diámetro, agregando números suficientes de capas para aumentar el diámetro general del artículo compuesto a una cantidad deseada tal como 812.8 (32 pulgadas) de diámetro en esta instancia. De esta manera, el rango de tamaños de electrodos disponibles se expande.

30 **[00062]** Con referencia ahora a la Fig. 8, se muestra un electrodo 40 de acuerdo con otra realización de la invención. El electrodo 40 incluye un cuerpo de grafito 32 que tiene una dirección axial (A) y una dirección radial (R). El cuerpo 32 incluye además una superficie exterior radial 34 y caras de los extremos opuestas 35. Se aplica un revestimiento de antioxidante 38 a al menos una porción sustancial de la superficie radial exterior 34 y preferiblemente básicamente a toda la superficie radial exterior 34. Un ejemplo no taxativo, antioxidantes adecuados incluyen fosfato, carburo de silicio, nitruro de boro, carburo de titanio, dióxido de titanio, alúmina, silicato de aluminio, óxido de magnesio, siliciuro de molibdeno y combinaciones de los mismos. En una realización, el revestimiento 38 comprende un material eléctricamente conductor. En otra realización, el revestimiento de antioxidante 38 puede adherirse a la
35 superficie exterior por el uso de un adhesivo. El adhesivo puede ser el mismo que el adhesivo descrito anteriormente. El revestimiento de antioxidante 38 puede incluir además partículas de grafito exfoliado si se desea. En una realización particular, el antioxidante 38 comprende un polvo aplicado a la superficie exterior del electrodo 40.

40 **[00063]** En una realización divulgada en la presente, el electrodo incluye una superficie exterior radial que se modifica de manera tal que, tras la aplicación de agua a la superficie del electrodo, exhibirá propiedades hidrófilas y el cuerpo del electrodo puede exhibir una o más características comúnmente asociadas con un cuerpo hidrófobo. En una realización particular, hidrófilo se utiliza para significar que la gotita de agua tendrá una apariencia tradicionalmente asociada con una superficie que está humedecida. Adicionalmente, el término hidrófobo, tal como
45 se utiliza en la presente, significa que al menos el cuerpo del electrodo no absorbe tanta agua en comparación con un electrodo con una superficie convencional. En una realización adicional, el electrodo no incluye ningún revestimiento o capa aplicados a la superficie exterior del electrodo.

[00064] En combinación con una o más de las realizaciones anteriores o independientemente de las mismas, el electrodo puede enfriarse utilizando agua que tiene un aditivo en la misma. En una realización, el aditivo es un tensioactivo para promover el flujo de agua a lo largo del electrodo. En otra realización, el aditivo es un antioxidante.. Aditivos antioxidantes adecuados pueden incluir, por ejemplo, metales (o semimetales) y sus carburos, fosfatos, óxidos, nitruros, silicatos o siliciuros correspondientes, en una solución acuosa, un coloide o suspensión. Estos aditivos antioxidantes pueden agregarse al agua en concentraciones de hasta 50 por ciento en peso. En otras realizaciones hasta 30 por ciento en peso. Y aun en otras realizaciones hasta 10 por ciento en peso.

55 **[00065]** En una realización particular, se agrega hidróxido de magnesio $Mg(OH)_2$ al agua de enfriamiento para formar una suspensión. En la presente realización el hidróxido de magnesio puede ser hasta 10 por ciento en peso de la suspensión. En otra realización, el hidróxido de magnesio es hasta 30 por ciento en peso de la suspensión. En otras realizaciones, el hidróxido de magnesio es hasta 50 por ciento en peso de la suspensión. En otras realizaciones, el hidróxido de magnesio es hasta 68 por ciento en peso de la suspensión. En otras realizaciones, el hidróxido de
60 hidróxido de magnesio es entre 20 y 40 por ciento en peso de la suspensión. En otras realizaciones, el hidróxido de

magnesio es entre 25 y 35 por ciento en peso de la suspensión. Cuando la mezcla de suspensión se pone en contacto y corre a lo largo del electrodo, se descompone, perdiendo agua y dejando el óxido de magnesio MgO en la superficie del electrodo. El óxido de magnesio puede reducir la oxidación del electrodo. Además, según se conoce en la técnica, el óxido de magnesio se agrega comúnmente durante calentamiento y por lo tanto, el método anterior puede ser una técnica mejorada para agregar óxido de magnesio a la escoria en el horno.

[00066] Además de los electrodos de grafito, los conceptos divulgados en la presente también son aplicables a otros tipos de artículos de grafito tales como al menos grafito extruido, grafito isomoldeado, grafito moldeado, grafito de grano fino (que tiene un tamaño de grano promedio de menos de aproximadamente 50 micrones a aproximadamente 10 micrones), grafito de grano superfino (que tiene un tamaño de grano promedio de menos de aproximadamente 10 micrones a aproximadamente 5 micrones), grafito de grano ultrafino (que tiene un tamaño de grano promedio de menos de 5 micrones, por ejemplo, 4 micrones o menos) y combinaciones de los mismos. El grafito flexible aplicado a una o más superficies del artículo de grafito puede incluir láminas de grafito flexibles o mallado de grafito como se describió anteriormente. En una realización alternativa, las partículas de grafito exfoliado (también denominado grafito expandido) pueden aplicarse a dichas superficies exteriores como se describió anteriormente.

[00067] En una realización, un coeficiente de expansión térmica (en adelante "CTE") a temperatura ambiente del material de grafito afecta la vida y facilidad de la eliminación del silicio para las aplicaciones de producción de silicio y es de este modo particularmente consecuente en la dirección perpendicular a la solidificación (es decir en el plano paralelo a la pared inferior). Por lo tanto, si la materia prima extruida es el material base, el CTE contrario al grano es de consecuencia particular. Sin embargo, si la materia prima moldeada es el material base, el CTE a favor del grano es de consecuencia particular. En una realización, el material de grafito tiene un coeficiente de expansión térmica perpendicular a la dirección de solidificación que es menor que 95% del CTE del silicio procesado en el mismo (CTE de Si a temperatura ambiente es aproximadamente $3,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Incluso de manera más ventajosa, el material de grafito tiene un CTE en la dirección perpendicular a la solidificación de menos de 85% del CTE del silicio procesado en el mismo. De manera aun más ventajosa, el material de grafito tiene un CTE en la dirección perpendicular a la solidificación de menos de 75% del silicio procesado en el mismo. En estas u otras realizaciones los materiales de grafito exhiben un CTE en la dirección perpendicular a la solidificación de aproximadamente $1,0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a aproximadamente $3,0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. En otra realización, el CTE en la dirección perpendicular a la solidificación es de aproximadamente $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a aproximadamente $2,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

[00068] De manera ventajosa en una realización, el material de grafito tiene una conductividad térmica en el plano transversal (es decir, paralela al flujo de calor y a la solidificación) de aproximadamente 80 a aproximadamente 200 W/m.K a temperatura ambiente. En otras realizaciones, la conductividad térmica es de aproximadamente 90 a aproximadamente 160 W/m.K a temperatura ambiente. En otras realizaciones, la conductividad térmica es de aproximadamente 120 a aproximadamente 130 W/m.K a temperatura ambiente.

[00069] En cierta realización, el material de grafito tiene una resistencia a la compresión a favor del grano de entre 15 y 22 MPa. En otras realizaciones, la resistencia a la compresión a favor del grano es entre aproximadamente 17 y aproximadamente 20 MPa. En esta y otras realizaciones, la resistencia a la compresión contra el grano es de manera ventajosa entre aproximadamente 17 y aproximadamente 24 MPa. En otras realizaciones, la resistencia a la compresión contra el grano es entre aproximadamente 19 y aproximadamente 21 MPa.

[00070] En una realización, el material de grafito de manera ventajosa exhibe una permeabilidad al gas de menos de aproximadamente 0,01 Darcy. Incluso de manera más ventajosa, el material de grafito exhibe una permeabilidad al gas de menos de aproximadamente 0,005 Darcy. Incluso de manera más ventajosa, el material de grafito exhibe una permeabilidad al gas de menos de aproximadamente 0,002 Darcy. La permeabilidad relativamente baja del material de grafito proporciona seguridad agregada y vida mejorada en caso de falla o degradación.

[00071] Una ventaja de una o más de las realizaciones anteriores es que el electrodo divulgado en la presente debe exhibir resistencia mejorada a la oxidación durante su uso.

[00072] Un experto en la técnica reconocerá que las técnicas descritas anteriormente pueden aplicarse tanto a electrodos tipo espiga-receptáculo como a electrodos sin espiga. El tamaño de los electrodos descritos anteriormente puede estar típicamente en el rango de aproximadamente 220 mm a aproximadamente 800 mm de diámetro nominal. Las técnicas anteriores pueden aplicarse a un electrodo de cualquier longitud.

Ejemplos

[00073] Ejemplo 1: Se preparó una muestra testigo cortando un electrodo de grafito comercialmente disponible (GrafTech International Holdings Inc.) en un cubo que medía 50,8 mm (2 pulgadas) de un lado. Se maquinaron nueve muescas de 3,18 mm (1/8 pulgadas) de profundidad igualmente separadas a cada lado del cubo. El cubo de muestra se pesó antes de colocarlo en un horno a alta temperatura. Con una tasa de flujo de aire de 9 L/min, la muestra se calentó de temperatura ambiente a 1600°C a una tasa de 10°C/minuto, luego se mantuvo a 1600°C durante 30 minutos, después de lo cual se apagó el horno y se permitió enfriar hasta la temperatura ambiente. La muestra se pesó y se calculó que la pérdida de masa de la muestra testigo fue de 34%.

[00074] Un segundo cubo de grafito se cortó y midió 50,8 mm (2 pulgadas) de un lado. El segundo cubo tenía nueve muescas de 3,18 mm (1/8 pulgadas) de profundidad igualmente separadas maquinadas a cada lado del cubo. Una lámina preformada de grafito expandido que medía 47,6 mm (1,875 pulgadas) cuadrados por 12,7 mm (1/2 pulgadas) de espesor se colocó en dos caras opuestas del cubo. La lámina de grafito expandido tenía un peso por área unitaria de 0,14 g/cm², dando una densidad de mallado original de aproximadamente 0,16 g/cm³. La lámina se comprimió en la superficie y en las muescas del cubo de grafito utilizando una prensa de laboratorio que suministra 500 psi. Los lados restantes del segundo cubo se revistieron con grafito expandido comprimido de la misma manera. La muestra se pesó y calentó como en el primer cubo. La pérdida de masa de la muestra fue de 28%.

[00075] Un tercer cubo de grafito se cortó y midió 50,8 mm (2 pulgadas) de un lado. El tercer cubo tenía nueve muescas de 3,18 mm (1/8 pulgadas) de profundidad igualmente separadas maquinadas a cada lado del cubo. Antes de la compresión de la lámina de grafito expandido, 0,5 g de polvo de carburo de silicio se distribuyó en cada cara del cubo. Posteriormente, una lámina preformada de grafito expandido que medía 47,6 mm (1,875 pulgadas) cuadradas por 12,7 mm (1/2 pulgadas) de espesor se colocó en dos caras opuestas del cubo. La lámina de grafito expandido tenía un peso por área unitaria de 0,14 g/cm², dando una densidad de mallado original de aproximadamente 0,16 g/cm³. La lámina se comprimió en la superficie y en las muescas del cubo de grafito utilizando una prensa de laboratorio que suministra 500 psi. Los lados restantes del tercer cubo se revistieron con grafito expandido comprimido de la misma manera. La muestra se pesó y calentó como en el primer cubo. La pérdida de masa de la muestra fue de 24%.

[00076] Ejemplo 2: Se prepararon muestras cortando electrodos de grafito disponibles comercialmente (GrafTech International Holdings Inc.) que tenían superficies sin modificar en muestras de 25,4 mm (una pulgada) cuadrados para su evaluación. La superficie exterior original de los electrodos se marcó claramente como la superficie a ser evaluada. Las muestras también fueron lijadas a mano o se pulieron mecánicamente de acuerdo con varios métodos. Una primera muestra pulida se pulió utilizando papel lija 80, luego una almohadilla scotch 47R94 Fine. Una segunda muestra pulida se pulió utilizando papel lija 80, luego la almohadilla scotch 42R18 Mid, luego papel esmeril de óxido de hierro. Una tercera muestra pulida se pulió utilizando papel lija 80, luego la almohadilla scotch 47446 Rough, luego papel esmeril de óxido de hierro. Finalmente, una cuarta muestra pulida ("Pulida No.4") se pulió utilizando papel lija 80, luego papel de lija 320, luego papel de lija 600, luego papel esmeril de óxido de hierro. La rugosidad superficial de las muestras se determinó utilizando un Probador de Rugosidad Superficial de Fase II TR100. El ángulo de contacto formado por la interacción de una gotita de agua de tamaño fijo con la superficie del electrodo se midió mediante técnicas conocidas. Además, la cantidad de agua absorbida en la superficie de la muestra se midió utilizando un medidor de película CAM-PLUS. Los resultados se proporcionan en la Tabla 1 a continuación.

Tipo de superficie	Rugosidad superficial (micropulgadas)	Ángulo de contacto 10 seg (grados)	Absorción de volumen (%) a 30 seg
Sin modificar	70-110	105	70
Lijada	60-70	101	100
Pulida No.4	<15	82	15

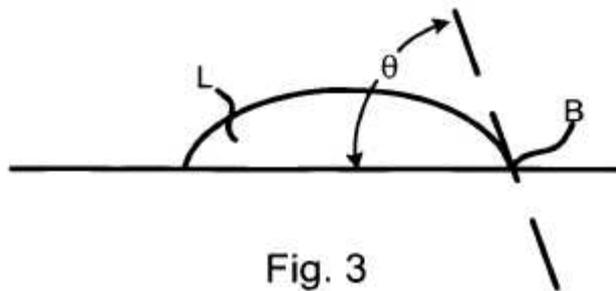
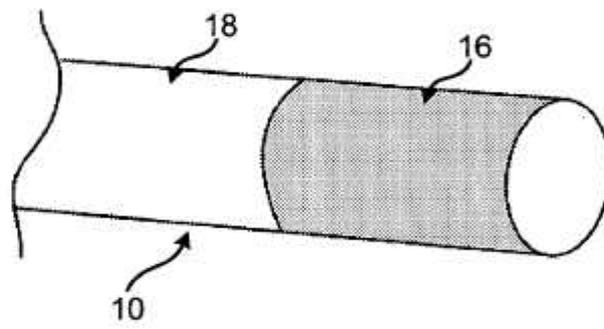
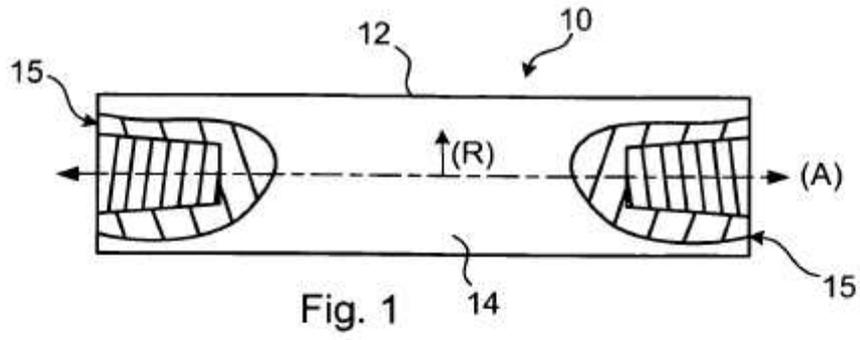
[00077] Las muestras que fueron lijadas tenían un acabado más suave que las superficies sin modificar, pero el ángulo de contacto no mostró ningún cambio significativo. La cantidad de agua absorbida fue incluso mayor que en la muestra original. Sin embargo, en este ejemplo, cuando se pulió la superficie a un acabado de superficie de 0,38µm (15 micropulgadas) o menos, el ángulo de contacto del agua disminuyó y la cantidad de agua absorbida en el electrodo disminuyó significativamente. Los resultados de la evaluación de absorción de agua se demuestran claramente en la Fig. 9, que muestra la reducción de volumen de agua con respecto al tiempo. Como puede verse, la muestra lijada absorbió el agua más rápido que la muestra sin alterar. Además, como puede verse, las muestras pulidas 1-3 absorbieron menos que la muestra sin alterar. De manera ventajosa, la cuarta muestra pulida, que se pulió utilizando múltiples pasos y mayor grano, durante periodos de tiempo mayores que 30 segundos, absorbieron menos que las muestras 1-3.

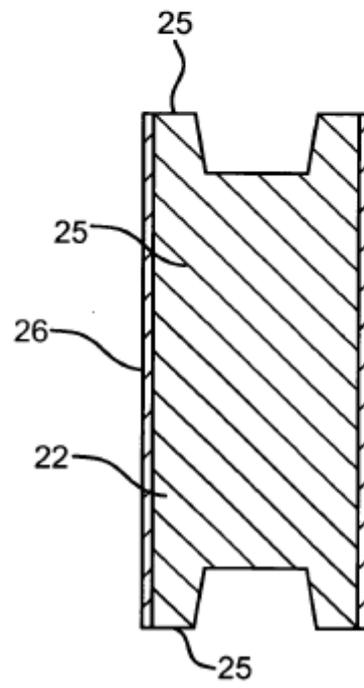
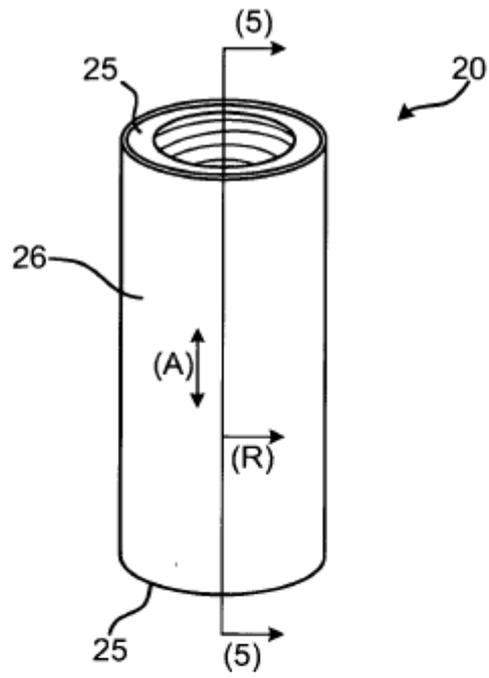
[00078] La descripción anterior pretende permitir a un experto en la técnica poner en práctica la invención. No se pretende detallar todas las variaciones y modificaciones posibles que serán evidentes para un experto en la técnica tras leer la descripción. Sin embargo, se pretende que todas las modificaciones y variaciones estén incluidas dentro del alcance de la invención que se define por las siguientes reivindicaciones. También las alternativas, modificaciones y variaciones anteriores pueden ponerse en práctica en cualquier combinación de las mismas. Las reivindicaciones pretenden cubrir los elementos y pasos indicados en cualquier disposición o secuencia que sea efectiva para cumplir con los objetivos pretendidos para la invención, a menos que el contexto específicamente indique lo contrario.

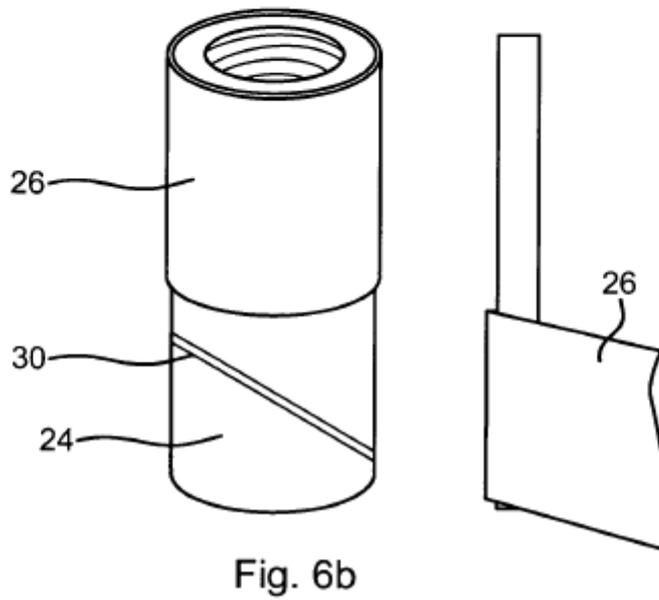
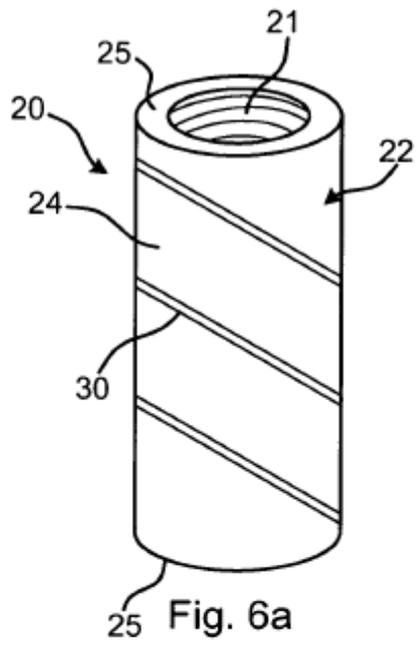
REIVINDICACIONES

1. Un electrodo de grafito (20) que comprende:
 - un cuerpo (22) que tiene una dirección axial y una dirección radial y además que tiene una superficie radial exterior (24) y dos extremos opuestos axialmente (25);
 - una muesca (30) dispuesta a lo largo de la superficie radial exterior (24) que se extiende axialmente y/o circunferencialmente;
 - una lámina de partículas comprimidas de grafito exfoliado (26) dispuesta alrededor de al menos una mayor parte de la superficie radial exterior (24);
 - una porción de dicha lámina de grafito (26) dispuesta en dicha muesca (30); y en donde dicha porción tiene una densidad de no más de 0,5 g/cc.
2. El electrodo de la reivindicación 1, en donde la porción dispuesta en la muesca (30) tiene una densidad de menos de 0,4 g/cc.
3. El electrodo de las reivindicaciones 1 o 2, en donde la muesca (30) se extiende en forma de espiral.
4. El electrodo de la reivindicación 3, en donde:
 - a) el paso de la muesca en espiral (30) es no mayor que 76,2 mm (tres pulgadas (3")): y/o
 - b) la profundidad de la muesca (30) es no mayor que 6,35 mm (0,25 pulgadas (0,25")).
5. El electrodo de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la muesca (30) tiene una forma de cola de milano.
6. El electrodo de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la muesca (20) es un electrodo sin espiga.
7. El electrodo de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la lámina (26) tiene un espesor cuando se dispone alrededor de la superficie exterior (24) de no más de 6,35 mm (un cuarto de una pulgada (1/4")).
8. El electrodo de cualquiera de las reivindicaciones precedentes que incluye además al menos una de una pluralidad de muescas (30) que se extienden axialmente a lo largo de la superficie exterior del cuerpo (22) y una pluralidad de láminas de partículas comprimidas de grafito exfoliado (26) dispuestas alrededor de al menos una mayor parte de la superficie radial exterior (24).
9. El electrodo de cualquiera de las reivindicaciones precedentes que comprende, además, al menos uno de un adhesivo y un antioxidante.
10. Un método para preparar un electrodo de grafito que comprende:
 - formar una muesca (30) en una superficie radial exterior (24) de un cuerpo (22) del electrodo (20), extendiéndose dicha muesca (30) axialmente y/o circunferencialmente;
 - comprimir una lámina de partículas comprimidas de grafito exfoliado (26) alrededor de al menos una mayoría de la superficie radial exterior (24) de modo que una porción de la lámina (26) se dispone en la muesca (30) para unir la lámina (26) al electrodo (20); y en donde dicha porción tiene una densidad de no más de 0,5 g/cc.
 11. El método de la reivindicación 10, en donde la lámina (26) se comprime de modo que la porción dispuesta en la muesca (30) tiene una densidad de menos de 0,4 g/cc.
 12. El método de las reivindicaciones 10 u 11 que comprende, además, al menos uno de los pasos de formar una pluralidad de muescas (30) que se extienden axialmente y/o circunferencialmente a lo largo de la superficie radial exterior (24) y se unen a una pluralidad de láminas de partículas comprimidas de grafito exfoliado (26) dispuestas alrededor de al menos una mayor parte de la superficie radial exterior (24).
 13. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10 o 12 que comprende, además, al menos uno de los pasos de aplicar un adhesivo a la superficie radial exterior (24) antes de la unión a la lámina (26) e incorporar un antioxidante al electrodo (20).
 14. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en donde la muesca (30) se forma mediante maquinado de la superficie radial exterior (24) del cuerpo (22) del electrodo (20).
 15. Una columna de electrodos de grafito que comprende al menos un electrodo de grafito (20) como se define en

las reivindicaciones 1 a 8.







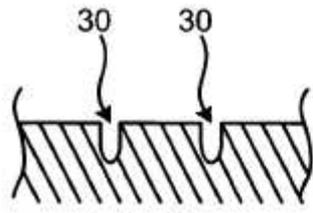


Fig. 7a

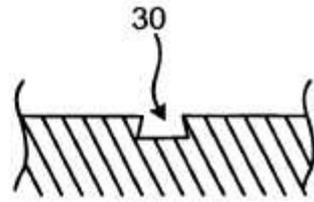


Fig. 7b

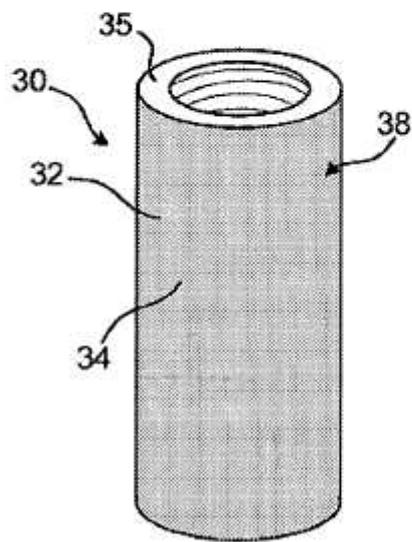


Fig. 8

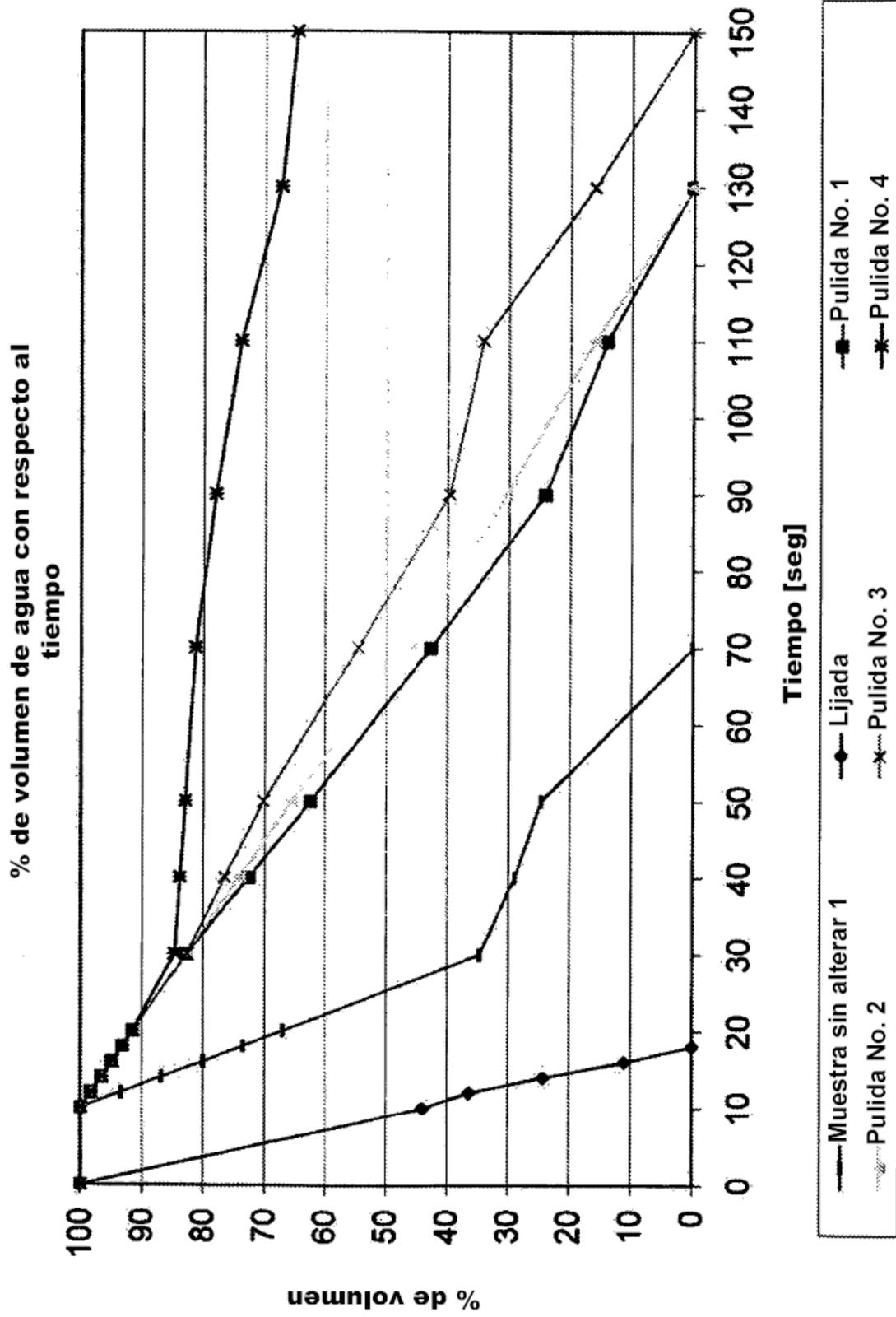


Fig. 9

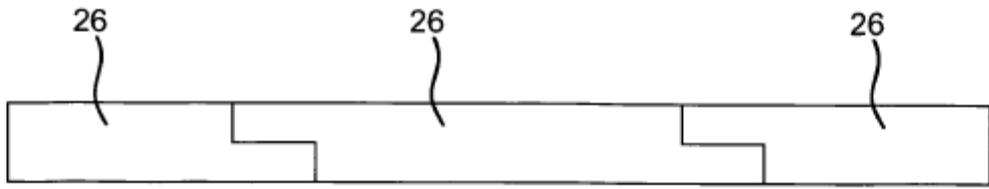


Fig. 10

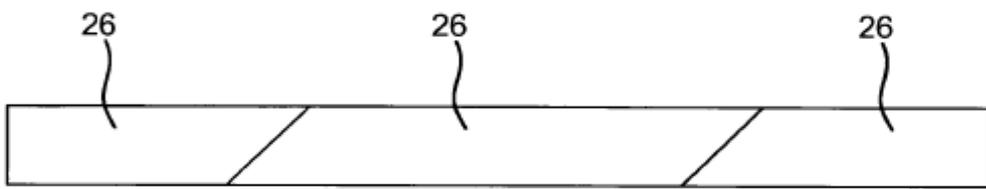


Fig. 11

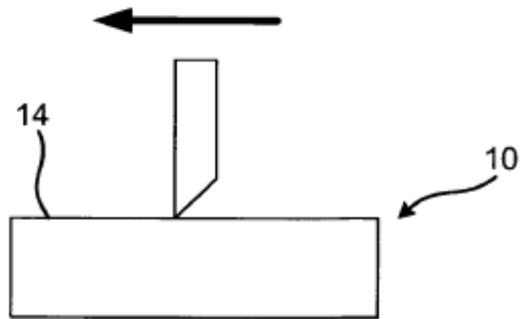


Fig. 12