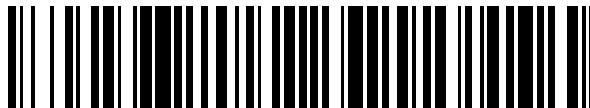


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 306**

51 Int. Cl.:

**E21B 33/138** (2006.01)

**C22C 1/04** (2006.01)

**C22C 1/10** (2006.01)

**C22C 32/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.06.2013 PCT/US2013/046264**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.07.2014 WO14113058**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.06.2013 E 13734890 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2017 EP 2946064**

54 Título: **Obturador de bola degradable**

30 Prioridad:

**17.01.2013 US 201361753454 P**  
**13.06.2013 US 201313916905**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**28.11.2017**

73 Titular/es:

**PARKER-HANNIFIN CORPORATION (100.0%)**  
**6035 Parkland Boulevard**  
**Cleveland, Ohio 44124-4141, US**

72 Inventor/es:

**JORDAN, STEPHEN, W.;**  
**CORNETT, KENNETH, W. y**  
**DUDZINSKI, PAUL, A.**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 644 306 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**

Obturador de bola degradable

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere en general a obturadores de bola utilizados para restringir o dirigir la presurización dentro de pozos a regiones específicas, segmentos y artículos manufacturados, o para conectar y/o activar mecánicamente dispositivos del fondo de pozos. Más en particular, la presente invención se refiere a composiciones obturadoras de bola degradables, a procedimientos de su fabricación y a procedimientos de uso de los obturadores de bola para conectar mecánicamente segmentos asentados de artículos diseñados para estanqueizar temporalmente regiones definidas dentro de los pozos.

**Antecedentes**

10 La fracturación hidráulica, habitualmente denominada "fracking", es un procedimiento en el que un pozo se presuriza para fracturar formaciones geológicas que contienen hidrocarburo. La presurización normalmente se incrementa secuencialmente en zonas aisladas a lo largo del pozo. Después del procedimiento de fracturación, el aparato de contención de la presión dentro de cada zona debe estar sin estanqueizar de manera que permita el flujo de retorno de los hidrocarburos liberados de vuelta a través del pozo.

15 El documento US-A-2009/226340 desvela una junta de estanqueidad degradable fabricada a partir de una aleación degradable a base de aluminio que comprende galio, para su uso en la exploración de yacimientos petrolíferos.

20 Los procedimientos aplicados para conseguir la despresurización y permitir el flujo de retorno con frecuencia requieren que el aparato de contención se retire por perforación o se retire de otra manera por medios mecánicos, lo que es engorroso y caro.

**Sumario**

La presente invención se refiere a una construcción de obturador de bola degradable que es a la vez ligero y de alta resistencia. Dicha construcción está adaptada, en particular, para su uso en operaciones de fracturación hidráulica de múltiples etapas a alta presión.

25 En un primer aspecto de la invención, se proporciona un artículo degradable construido a partir de un material de alta resistencia que incluye una matriz de aleación a base de aluminio que contiene galio; y una pluralidad de partículas de carbono y una pluralidad de partículas de sal distribuidas homogéneamente dentro de la matriz de la aleación a base de aluminio, en la que la concentración de galio en el artículo degradable es más alta en la superficie más externa del artículo degradable y el artículo es corrosible galvánicamente.

30 En una realización, la sal se selecciona entre haluros metálicos, sulfuros metálicos y carbonatos metálicos, en los que el metal comprende uno o más de litio, sodio, potasio, berilio, magnesio, calcio y estroncio.

En una realización, el material de alta resistencia comprende del 10 al 35 por ciento en peso de carbono, del 3 al 25 por ciento en peso de sal, del 1 al 10 por ciento en peso de galio y del 45 al 85 por ciento en peso de aleación a base de aluminio.

35 En una realización, el galio se distribuye casi en su totalidad dentro de los granos de fase primaria de la matriz de aleación de aluminio.

En una realización, al menos el 95 por ciento en peso del galio se incorpora dentro de los granos de aluminio.

En una realización, el artículo degradable es generalmente esférico.

40 En una realización, el artículo degradable es un obturador de bola para estanqueizar una abertura en un pozo frente al flujo de un fluido en el pozo y el obturador de bola es corrosible galvánicamente en el pozo de manera que sea soluble.

45 En otro aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento de formación de una junta de estanqueidad de fondo de pozo reversible con un obturador de bola corrosible, incluyendo el procedimiento: asentar el obturador de bola degradable en un artículo de fondo de pozo configurado para alojar un forma de la superficie del obturador de bola, el obturador de bola construido de un material de alta resistencia que incluye: una matriz de aleación a base de aluminio que contiene galio; y una pluralidad de partículas de carbono y una pluralidad de partículas de sal distribuidas homogéneamente dentro de la matriz de la aleación a base de aluminio, en la que la concentración de galio en el obturador de bola es más alta en la superficie más externa del obturador de bola; y en la que el obturador de bola degradable evita el flujo de fluido cuando está asentado.

50 En una realización del procedimiento, asentar el obturador de bola degradable incluye colocar el obturador de bola en un entorno de fondo de pozo y aplicar presión al entorno de fondo de pozo.

En una realización, el procedimiento incluye adicionalmente desasentar el obturador de bola mediante la reducción de la presión aplicada al entorno de fondo de pozo a una presión por debajo de una presión de fondo de pozo ambiente.

En una realización, el procedimiento incluye adicionalmente corroer el obturador de bola.

- 5 En otro aspecto de la invención se proporciona un procedimiento de fabricación de un artículo degradable de alta resistencia, incluyendo el procedimiento: (a) formar una preforma compactada a partir de una mezcla de polvos que incluye una pluralidad de partículas de carbono, una pluralidad de partículas de sal y un agente aglutinante; (b) calentar la preforma compactada para retirar el agente aglutinante y crear una pluralidad de poros dentro de la preforma; (c) infiltrar los poros de la preforma con una aleación a base de aluminio para formar un artículo que  
10 incluye una matriz de aleación a base de aluminio con partículas de carbono y partículas de sal distribuidas dentro de la matriz de aleación a base de aluminio; y (d) difundir galio en la matriz de aleación a base de aluminio, en la que la concentración de galio en el artículo es más alta en la superficie más externa del artículo y el artículo es corrosible galvánicamente.

En una realización del procedimiento, la mezcla de polvos incluye adicionalmente galio.

- 15 En un aspecto adicional de la invención se proporciona un procedimiento de estanqueización de forma reversible de una abertura en un pozo frente al flujo de un fluido en el pozo, teniendo el fluido una gravedad específica e incluyendo el procedimiento las etapas de: (a) inyectar en el pozo un obturador de bola formado de un material metálico de alta resistencia, incluyendo el material una matriz de aleación a base de aluminio que contiene galio; y  
20 una pluralidad de partículas de carbono y una pluralidad de partículas de sal distribuidas homogéneamente dentro de la matriz de la aleación a base de aluminio, en el que la concentración de galio en el obturador de bola es más alta en la superficie más externa del obturador de bola; y (b) corroer galvánicamente el material de manera que se disuelva el obturador de bola.

### **Breve descripción de los dibujos**

- 25 Para una comprensión más completa de la naturaleza y los objetos de la invención, debe hacerse referencia a la siguiente descripción detallada tomada en conjunto con los dibujos adjuntos en los que:

La FIGURA 1A es una vista en sección transversal de una realización de ejemplo de una instalación de fracturación hidráulica en la que se usa un obturador de bola degradable.

La FIGURA 1B es una vista en primer plano de una sección transversal del pozo de la FIGURA 1A que muestra el obturador de bola asentado.

- 30 La FIGURA 2 es una vista en sección transversal de una sección de un pozo horizontal que muestra el uso de un obturador de bola degradable con un compactador móvil ilustrativo en una operación de fracturación de múltiples etapas de agujero abierto.

La FIGURA 3 es una vista en perspectiva de un obturador de bola degradable.

La FIGURA 4 es una vista ampliada de un obturador de bola degradable cortado y pulido.

- 35 Las FIGURAS 5A y 5B son mapas de iones metálicos de Al y Ga, respectivamente, de un obturador de bola degradable.

La FIGURA 6 es un gráfico de la concentración de Ga frente a la profundidad de un obturador de bola degradable de 8,9 cm (3,5 pulgadas).

Los dibujos se describirán adicionalmente junto con la siguiente descripción detallada.

### **Descripción detallada**

- 40 Como se usa en el presente documento, el término "degradable" se refiere a composiciones que se consumen parcialmente o totalmente debido a su reactividad relativamente elevada. Las composiciones de la presente invención que se consideran reactivas y degradables incluyen aquellas que se pueden disolver parcial o totalmente (soluble) en el entorno fluido designado, así como aquellas que se desintegran pero no necesariamente se  
45 disuelven.

El término "bola", como se usa en el presente documento, se extiende más allá del término normalmente asociado a formas esféricas y pretende incluir otras geometrías. La bola puede ser de cualquier forma que pueda atravesar al menos una parte de una perforación de pozo para acoplarse y estanqueizar herméticamente un orificio de pozo diseñado. Las formas adecuadas incluyen, por ejemplo, cilíndrica, redonda, de barra, dardo y similares.

- 50 En las figuras, los elementos que tienen una designación alfanumérica pueden referenciarse en el presente documento colectivamente o como alternativa, como será evidente a partir del contexto, por la parte numérica de la designación solamente. Adicionalmente, las partes constituyentes de diversos elementos en las figuras pueden designarse con números de referencia separados, que se entenderá que se refieren a la parte constituyente del elemento y no al elemento como un todo. Pueden designarse referencias generales, junto con referencias a  
55 espacios, superficies, dimensiones y extensiones, con flechas o subrayados.

Haciendo referencia a las FIGURAS 1A y 1B, se ilustra el uso de obturadores de bola degradables en una operación de fracturación horizontal de ejemplo. Un pozo 100, que puede estar compuesto de juntas de caja de acero, ya sea cementadas o sin cementar, se fija en su lugar a la finalización del procedimiento de perforación. Se hacen perforaciones 102 cerca del final del pozo, habitualmente denominado punta 104. Se mezcla fluido de fracturación compuesto de agua, arena y aditivos, en la superficie y se bombea a altas presiones hacia abajo del pozo vertical 108 en el pozo horizontal 110. El fluido de fracturación fluye a través de las perforaciones 102 del pozo horizontal 110 y dentro de la formación circundante 112, normalmente una formación de esquisto, fracturándolo mientras que lleva arena o agentes de sostén en las fisuras 114 para mantenerlas abiertas. El procedimiento de fracturación se completa normalmente en múltiples secciones del pozo horizontal 110, habitualmente denominadas etapas. Una vez que se termina una etapa, la etapa se aísla usando un obturador de bola 116 asentado dentro del pozo para estanqueizar temporalmente esa sección. La siguiente sección del pozo después se perfora y después se bombea otra etapa y se presuriza. La presión dentro de la sección aislada 120 es menor que en la sección del pozo en la etapa 122 posterior. El procedimiento "perforar y taponar" se repite según sea necesario a lo largo de toda la longitud de la parte horizontal del pozo 110, comenzando en la punta 104 y terminando en el talón 106.

Haciendo referencia a la FIGURA 1B, el obturador de bola 116 actúa para taponar el pozo horizontal 110 en un punto de obturación 124 donde el diámetro se reduce con respecto al diámetro de la tubería del pozo. En el punto de estanqueización 124, el obturador de bola 116 se acopla a un asiento 118 de la bola diseñado con precisión, muy similar a un asiento de válvula para una válvula de retención. El obturador de bola 116 se inyecta en el pozo y la presión por encima del punto de obturación forzaría el obturador de bola 116 hacia abajo contra el asiento 118 de la bola ahusado, restringiendo de este modo el flujo de fluido más allá del punto de estanqueización 124. En el lado de la sección aislada 120 del asiento 118 de la bola, la presión dentro del pozo es baja y en el lado opuesto 122 del asiento 118 de la bola, la presión dentro del pozo es alta debido a la presencia del fluido de fracturación dentro de esta sección del pozo.

Los obturadores de bola de la presente invención también pueden usarse para estanqueizar aberturas en otras estructuras o componentes del pozo tales como los manguitos deslizantes o compactadores utilizados en operaciones de estimulación más nuevas de la fracturación de múltiples etapas que se describe adicionalmente en el documento US-A-2007/0007007. Con referencia a la FIGURA 2, dicha operación, que se emplea normalmente en pozos horizontales, una sección de los cuales se referencia en 200, utiliza un compactador o manguito 202 móvil de forma deslizante para aislar secciones de una hilera de tuberías 204 que tiene una serie de perforaciones, dos de los cuales se referencian en 206a-b, que pueden distribuirse en diferentes zonas a lo largo de la hilera de tuberías 204. El compactador 202 tiene un paso, referenciado en 210, a través del cual se estrecha para formar una abertura interna 212, que puede estanqueizarse por el obturador de bola 10 de la presente invención que se asienta en la misma en respuesta al flujo de una inyección o de otro fluido en el pozo 200.

Los obturadores de bola degradables actúan como una válvula de retención temporal, diseñados para realizar tres tareas para conseguir la fracturación hidráulica y la liberación de hidrocarburos de forma superior.

La primera tarea es entregar el obturador de bola al punto de estanqueización deseado. El punto de estanqueización deseado es un segmento ahusado, donde el diámetro se reduce con respecto a la tubería del pozo. La bola de estanqueización en su condición de estanqueización después se "asienta" sobre este artículo de diámetro reducido. En una realización de la invención, esto requiere que la bola sea casi perfectamente esférica y tenga una gravedad específica cercana a la gravedad específica del fluido del pozo, que puede, por ejemplo, estar en el intervalo de aproximadamente 1 a 2 g/cc, de manera que el obturador de bola no quede atrapado tras el despliegue al segmento de estanqueización apropiado dentro del pozo. En esta realización, pueden disponerse de aproximadamente diez a aproximadamente cuarenta segmentos secuencialmente a lo largo del pozo con un diámetro del asiento decreciente correspondiente a una mayor distancia desde el talón del pozo.

La segunda tarea del obturador de bola degradable es funcionar como una válvula de retención y mantener la presión. Cuanta más presión mantenga, más deseable se vuelve el obturador de bola, porque más presión provoca una mayor fracturación sobre un área mayor, reduciendo de este modo el número de etapas y aumentando el volumen productivo que rodea el eje del pozo. La bola también debería ser tan fuerte como sea posible debido al solapamiento de asiento. El solapamiento de asiento es la diferencia entre el diámetro de la bola y el diámetro de la tubería más pequeña. Cuanto menor sea el solapamiento, más asientos y, por tanto, zonas, son posibles, pero cuando está presurizado, los esfuerzos de cizalla sobre la bola aumentan a medida que el solapamiento se reduce, requiriendo por tanto la mayor resistencia posible de la bola. "Resistencia" es una combinación compleja de resistencias de tracción, de cizalla y de compresión que varía con la carga y el solapamiento.

La tercera tarea del obturador de bola degradable es que sea auto-eliminable. Debido a que retirar la bola por perforación es caro y engorroso, es ventajoso emplear un obturador de bola que se disuelva después de que el trabajo de fracturación hidráulica se haya completado. Es de más valor tener un obturador de bola que se disuelva en un fluido ecológico, más en particular, uno que sea de un pH generalmente neutro.

Los obturadores de bola degradables se forman a partir de un material de alta resistencia que incluye carbono, una aleación a base de aluminio, galio y sal, en los que la concentración de galio en el obturador de bola degradable es mayor en la superficie de la bola y disminuye parabólicamente hacia el centro de la bola.

Como se usa en el presente documento, la expresión "aleación a base de aluminio" significa aluminio comercialmente puro además de aleaciones de aluminio en las que el porcentaje en peso de aluminio en la aleación es mayor que el porcentaje en peso de cualquier otro componente de la aleación.

5 Existe un potencial galvánico significativo entre aleaciones a base de aluminio tanto fundido como forjado y carbonos  
grafíticos. Cuando el carbono grafítico y la aleación a base de aluminio se ponen en contacto en un electrolito, la  
aleación a base de aluminio actúa como un ánodo y el carbono grafítico actúa como un cátodo. La diferencia de  
potencial eléctrico entre el carbono grafítico y la aleación a base de aluminio es la fuerza motriz para un ataque  
acelerado en la aleación a base de aluminio. El ánodo de aleación a base de aluminio se disuelve en el electrolito.  
10 Se requiere una cantidad significativa de carbono grafítico tanto para iniciar como para mantener la reacción  
galvánica hasta su finalización (es decir, el agotamiento o casi el agotamiento de la aleación a base de aluminio).

Se sabe que el galio cataliza la reacción del aluminio con agua mediante la interrupción de la formación de una capa  
de óxido protectora. Sin embargo, la cantidad de galio necesaria para iniciar y mantener esta reacción (normalmente  
del orden del 7 % en peso) tiene un efecto negativo significativo sobre las propiedades aparentes del material de la  
aleación a base de aluminio.

15 Se ha descubierto que la combinación de galio y carbono grafítico, además de la adición de una sal, tiene un efecto  
sinérgico sobre la disolución/degradación de aleaciones a base de aluminio cuando se funde in situ. Esta sinergia  
permite la construcción de una aleación compuesta de aluminio de alta resistencia que también es altamente  
susceptible a la corrosión galvánica acelerada, lo que permite su uso como material base para bolas solubles de  
fracturación hidráulica.

20 La FIGURA 3 muestra un obturador de bola degradable que es de forma casi perfectamente esférica. El obturador  
de bola puede incluir una preforma volumétricamente sólida del 35 al 65 por ciento infiltrada por una aleación  
metálica para conseguir un material compuesto volumétricamente sólido al 70 % a un 98 %. El volumen abierto  
puede estar soportado por vidrio hueco o esferas cerámicas. En una realización, la preforma contiene de  
aproximadamente el 35 al 85 por ciento en peso de carbono, del 10 al 50 por ciento en peso de sal, del 0 al 10 por  
25 ciento en peso de galio y del 0 al 15 por ciento en peso de vidrio hueco o esferas cerámicas. En otra realización, la  
preforma contiene de aproximadamente el 60 al 85 por ciento en peso de carbono, del 10 al 30 por ciento en peso  
de sal, del 0,01 al 5 por ciento en peso de galio y del 0 al 15 por ciento en peso de vidrio hueco o esferas cerámicas.  
La aleación de la infiltración está compuesta predominantemente por aluminio y puede contener del 1 a  
aproximadamente el 8 por ciento en peso de galio. Las relaciones exactas de materiales constituyentes y elementos  
30 específicos de metal/de aleación pueden modificarse para adaptar con precisión las propiedades deseadas del  
producto.

El obturador de bola degradable puede fabricarse usando moldeo de polvo para formar una preforma que contenga  
carbono, infiltrando por fusión la preforma con una aleación a base de aluminio, seguido de una etapa de difusión de  
galio.

35 En una etapa inicial, una preforma que contiene carbono se forma a partir de una mezcla de polvos que contiene  
una pluralidad de partículas de carbono, una pluralidad de partículas de sal y un agente aglutinante.

El carbono utilizado es preferentemente un carbono activado relativamente puro. Se ha descubierto que el grafito de  
baja pureza y menor área de superficie, tal como una fibra derivada de PAN, proporciona reacciones galvánicas  
menos óptimas. Puede esperarse que otras formas de carbono, tales como grafeno, buckybolos, nanotubos y  
40 diamante mejoren la resistencia, pero pueden considerarse un coste prohibitivo.

Las sales útiles incluyen los metales del Grupo IA o IIB con un halógeno. Los ejemplos de dichas sales incluyen  
aquellas que contienen los iones metálicos litio, sodio, potasio, magnesio o calcio combinados con uno o más  
halógenos, tales como flúor o cloro. Los ejemplos de sales preferidas incluyen cloruro de potasio, cloruro de litio y  
fluoruro de litio. Dichas sales son adicionalmente beneficiosas en la medida en la que humedecen la aleación a base  
45 de aluminio infiltrante, actúa como un electrolito en el agua y se disuelven fácilmente en agua, con agitación  
mecánica en presencia de galio, de acuerdo con el procedimiento descrito en el presente documento. En una  
realización, el cloruro de sodio, por ejemplo, es eficaz para humedecer la aleación de aluminio de tipo 355 dopada  
con del 0,01 al 0,03 por ciento en peso de estroncio. Un potencial limitante para la estratificación debida a  
diferencias en la densidad indica que la microestructura deseada se consigue a una temperatura que no disuelve o  
50 licúa completamente la sal del tamaño de partícula adecuado durante la infiltración de la aleación metálica.

El galio puede añadirse a la mezcla de polvos como agente humectante para las partículas no metálicas de la  
preforma.

El agente aglutinante utilizado puede incluir un aglutinante fugitivo de calor. En una realización, el agente aglutinante  
incluye un aglutinante a base de cera conocido por los expertos en la materia. Los ejemplos no limitantes de agentes  
aglutinantes útiles incluyen polietilenglicol, cera de polipropileno o cualquier aglutinante termoplástico o gelificante.  
La adición del agente aglutinante sirve para mantener las partículas de carbono y las partículas de sal juntos antes  
de la etapa de fundición. El agente aglutinante, a través de su retirada en un procedimiento desaglutinante, crea los  
65 poros en la preforma que se han de rellenar por la aleación a base de aluminio infiltrante.

En una realización, la preforma puede fabricarse mediante la compactación de la mezcla de polvos en una bola mediante la colocación de la mezcla de polvos entre las mitades de un molde de dimensionamiento para retirar el exceso de aire. Mediante la compactación de la preforma, puede dimensionarse con precisión para que quepa en un molde de fundición.

5 La preforma compactada puede colocarse entre las mitades de un molde de fundición y después calentarse para retirar el agente aglutinante. En el molde de fundición, el componente de matriz de aleación a base de aluminio se infiltra en la preforma. Después de ser calentada a una temperatura superior a su temperatura de licuefacción, la aleación a base de aluminio infiltrada puede ser admitida en un estado fundido en la cavidad del molde de fundición. La fundición y la fundición a presión de materiales de matriz metálica se describen en la Patente de los EE.UU. N.º 10 4.573.517; 5.322.109; 5.553.658; 5.983.973; y 6.148.899.

Tras la infiltración de la aleación a base de aluminio en la preforma, el obturador de bola se enfría y se retira del molde de fundición. El obturador de bola después puede mecanizarse a su tamaño.

15 En una etapa de difusión, el galio difunde en los granos de aleación a base de aluminio desde el exterior del obturador de bola al interior del obturador de bola. En una realización, el obturador de bola se muele con molino de bolas con medios cerámicos, por ejemplo medios de zircona cúbica esférica, en presencia de galio líquido. En una realización, el obturador de bola se muele con molino de bolas con galio líquido a una temperatura superior a 30 °C durante aproximadamente una hora. En una realización, el obturador de bola puede molerse con galio líquido a una temperatura dentro del intervalo de 40 a 100 °C o dentro del intervalo de 40-70 °C o dentro del intervalo de 45-60 °C.

20 El obturador de bola después se calienta a una temperatura dentro del intervalo de aproximadamente 275-350 °C o aproximadamente 315 °C durante aproximadamente dos horas en una atmósfera inerte para provocar que el galio difunda en los granos de la matriz de aleación a base de aluminio.

Haciendo referencia a la FIGURA 4, una fotografía ampliada de sección transversal de un obturador de bola degradable cortado y pulido muestra la distribución de las partículas de carbono 402 y las partículas de sal 406 25 dentro de la matriz 404 que contiene aleación a base de aluminio. La concentración de galio dentro de la aleación es más alta en los granos de aleación más externos y disminuye a un nivel de equilibrio dentro de la masa central del obturador de bola.

**Ejemplo 1:**

Un obturador de bola que tiene un diámetro de 7,6 cm (3 pulgadas) se forma a partir de una preforma de 147 30 gramos y 305 gramos de una aleación de aluminio infiltrante. La preforma contiene 107 gramos de partículas de carbono activado con un tamaño de partícula promedio de 400 µm (micrómetros), 29 gramos de cloruro de sodio con un tamaño de partícula promedio de 250 µm (micrómetros) y 11 gramos de galio microscópicamente y homogéneamente disperso. La aleación de la infiltración se compone de 300 gramos de aleación de aluminio de tipo 355, dopada con 5 gramos de galio y 0,06 gramos de estroncio. Los 5 gramos de galio que se considera que se 35 originan a partir de la aleación de infiltración no se dispersan linealmente, ya que difunden desde la superficie externa del obturador de bola dentro de la masa de la aleación de infiltración. El galio difundido está casi totalmente incorporado en los granos de aluminio y queda poco galio remanente en los límites de los granos como se demuestra mediante los mapas de iones metálicos de aluminio y galio producidos por los estudios EDAX que se muestran en las FIGURAS 5A y 5B, respectivamente.

40 Haciendo referencia a la FIGURA 6, se muestra que la concentración de galio en un obturador de bola degradable de 8,9 cm (3,5 pulgadas) de diámetro varía con la profundidad de la difusión dentro del obturador de bola. La concentración de galio es más alta en la superficie del obturador de bola y disminuye parabólicamente a medida que aumenta la distancia desde la superficie.

Los obturadores de bola difundidos de galio producidos de acuerdo con la presente invención conservan niveles muy 45 concentrados de galio en los granos más externos de la aleación a base de aluminio. Esto permite que los obturadores de bola consigan la acción catalítica, donde la reacción con agua tiene lugar, y al mismo tiempo conserven una alta resistencia dentro de la masa del obturador de bola. A medida que transcurre la disolución, el galio se abre camino en la bola, que actúa como un catalizador móvil, concentrándose en el frente de reacción a medida que transcurre la reacción. Debido a que el galio no está muy concentrado en los límites de los granos, se 50 mantiene la resistencia total del obturador de bola.

REIVINDICACIONES

1. Un artículo degradable construido a partir de un material de alta resistencia que comprende una matriz de aleación a base de aluminio que contiene galio;  
**caracterizado porque** el material de alta resistencia comprende adicionalmente una pluralidad de partículas de carbono y una pluralidad de partículas de sal distribuidas homogéneamente dentro de la matriz de aleación a base de aluminio,  
 la concentración de galio en el artículo degradable es más alta en la superficie más externa del artículo degradable, y el artículo es corrosible galvánicamente.
2. El artículo degradable de la reivindicación 1, en el que la sal se selecciona de entre haluros metálicos, sulfuros metálicos y carbonatos metálicos, en el que el metal comprende uno o más de litio, sodio, potasio, berilio, magnesio, calcio y estroncio.
3. El artículo degradable de la reivindicación 1 o 2, en el que el material de alta resistencia comprende del 10 al 35 por ciento en peso de carbono, del 3 al 25 por ciento en peso de sal, del 1 al 10 por ciento en peso de galio y del 45 al 85 por ciento en peso de aleación a base de aluminio.
4. El artículo degradable de la reivindicación 1 o 2, en el que el material de alta resistencia comprende del 15 al 20 por ciento en peso de carbono, del 5 al 20 por ciento en peso de sal, del 1 al 9 por ciento en peso de galio y del 55 al 80 por ciento en peso de aleación a base de aluminio.
5. El artículo degradable de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el galio se distribuye casi en su totalidad dentro de los granos de fase primaria de la matriz de la aleación a base de aluminio.
6. El artículo degradable de la reivindicación 5 en el que al menos el 95 por ciento en peso del galio se incorpora dentro de granos de aluminio.
7. El artículo degradable de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el artículo es generalmente esférico.
8. El artículo degradable de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el artículo es un obturador de bola (116) para la estanqueización de una abertura en un pozo (110) frente al flujo de un fluido en el pozo y el obturador de bola es corrosible galvánicamente en el pozo de manera que sea soluble.
9. Un procedimiento de formación de una junta de estanqueidad de fondo de pozo reversible con un obturador de bola (116) degradable, que comprende asentar el obturador de bola degradable en un artículo de fondo de pozo configurado para alojar una forma de superficie del obturador de bola, el obturador de bola degradable impide el flujo de fluido cuando está asentado, comprendiendo el obturador de bola un material de alta resistencia que comprende una matriz de aleación a base de aluminio que contiene galio,  
**caracterizado porque** el material de alta resistencia comprende adicionalmente una pluralidad de partículas de carbono y una pluralidad de partículas de sal distribuidas homogéneamente dentro de la matriz de aleación a base de aluminio, en el que la concentración de galio en el obturador de bola es más alta en la superficie más externa de la obturador de bola.
10. El procedimiento de la reivindicación 9, que comprende adicionalmente la etapa de corroer galvánicamente el material de alta resistencia de manera que se disuelva el obturador de bola (116).
11. Un procedimiento de fabricación de un artículo degradable de alta resistencia,  
**caracterizado porque** el procedimiento comprende:  
 formar una preforma compactada a partir de una mezcla de polvos que comprende una pluralidad de partículas de carbono, una pluralidad de partículas de sal y un agente aglutinante;  
 calentar la preforma compactada para retirar el agente aglutinante y crear una pluralidad de poros dentro de la preforma;  
 infiltrar los poros de la preforma con una aleación a base de aluminio para formar un artículo que comprende una matriz de aleación a base de aluminio con partículas de carbono y partículas de sal distribuidas dentro de la matriz de aleación a base de aluminio; y  
 difundir galio dentro de la matriz de aleación a base de aluminio,  
 en el que la concentración de galio en el artículo es más alta en la superficie más externa del artículo y el artículo es corrosible galvánicamente.
12. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que la sal se selecciona de entre haluros metálicos, sulfuros metálicos y carbonatos metálicos, en el que el metal comprende uno o más de litio, sodio, potasio, berilio, magnesio, calcio y estroncio.
13. El procedimiento de la reivindicación 11 o 12, en el que el artículo degradable de alta resistencia comprende del

10 al 35 por ciento en peso de carbono, del 3 al 25 por ciento en peso de sal, del 1 al 10 por ciento en peso de galio y del 45 al 85 por ciento en peso de aleación a base aluminio.

14. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el que la mezcla de polvos comprende adicionalmente galio.

5



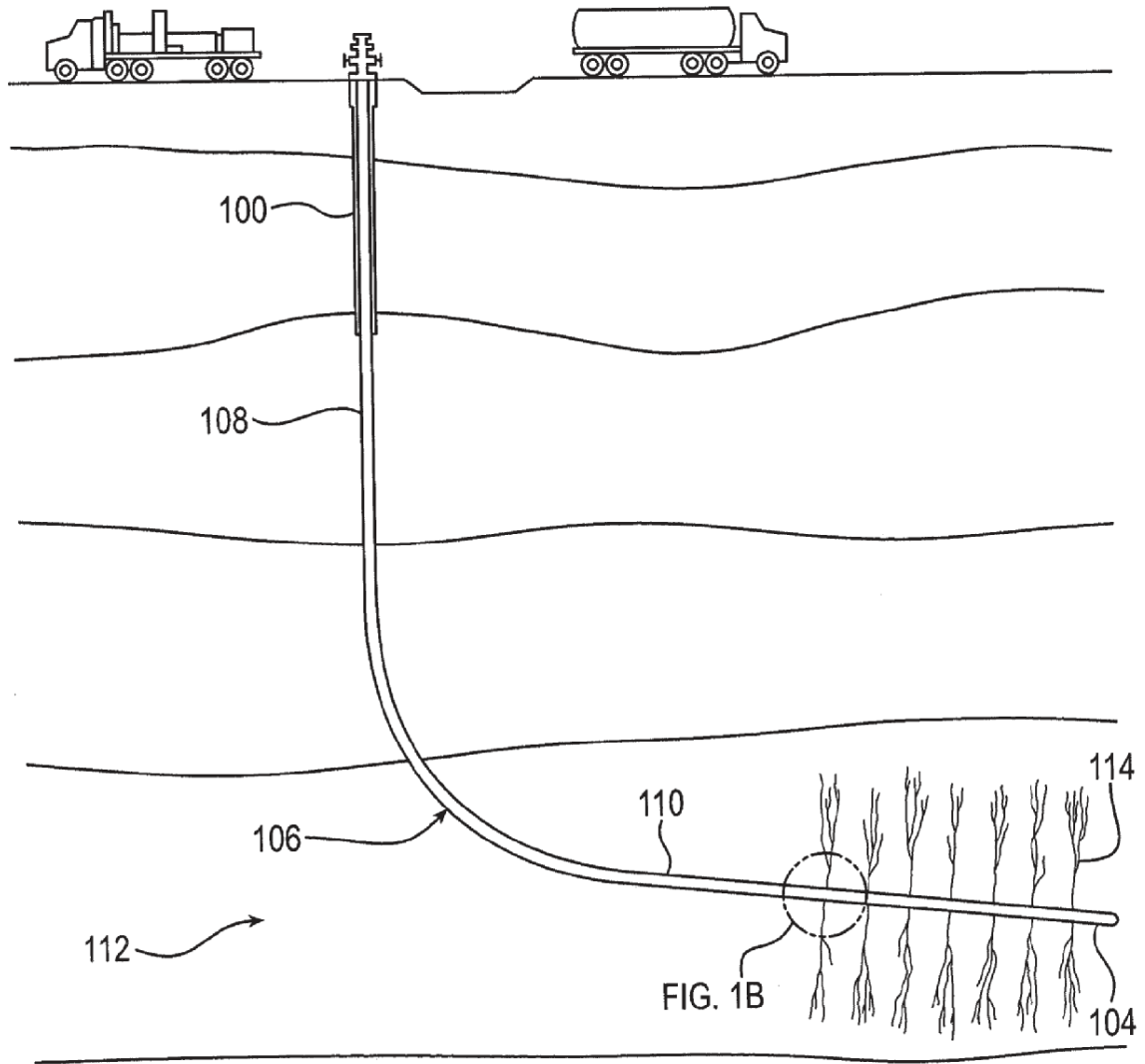


FIG. 1A

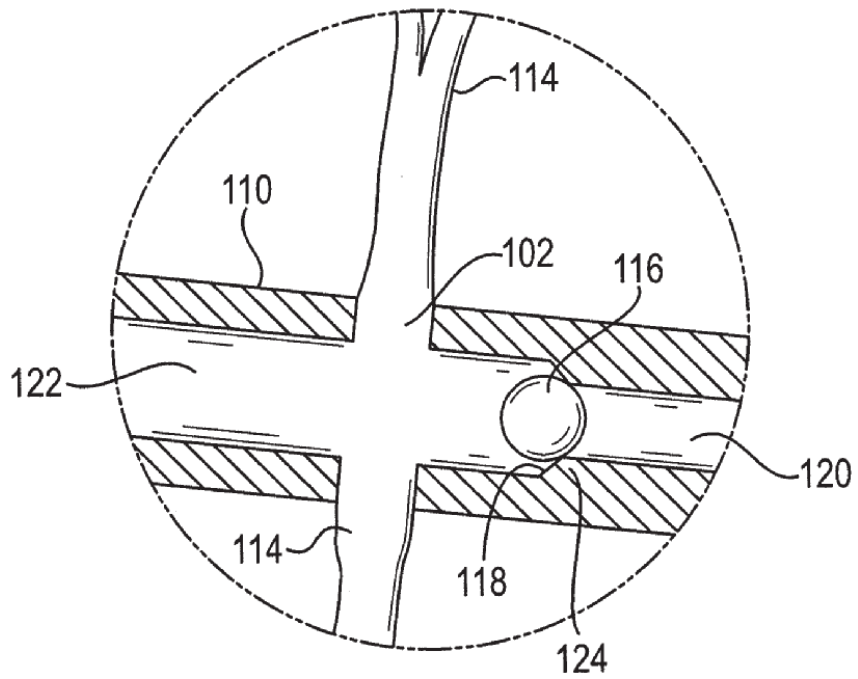


FIG. 1B

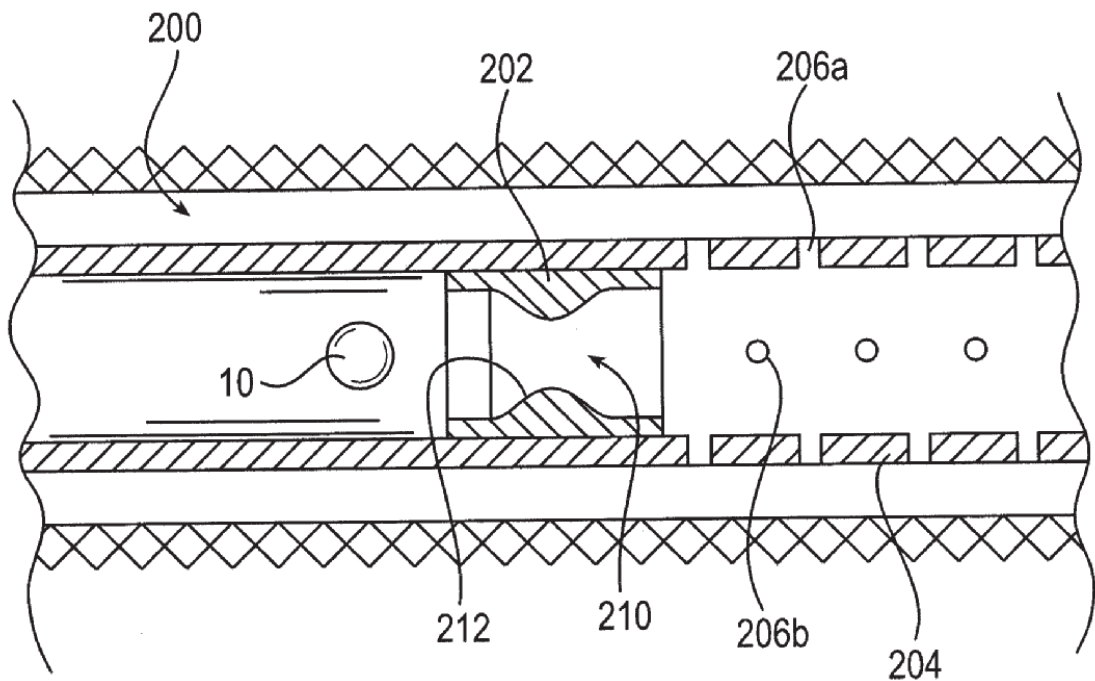


FIG. 2

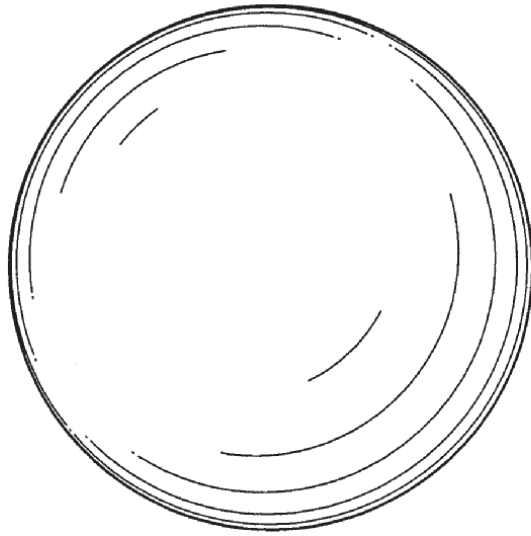


FIG. 3

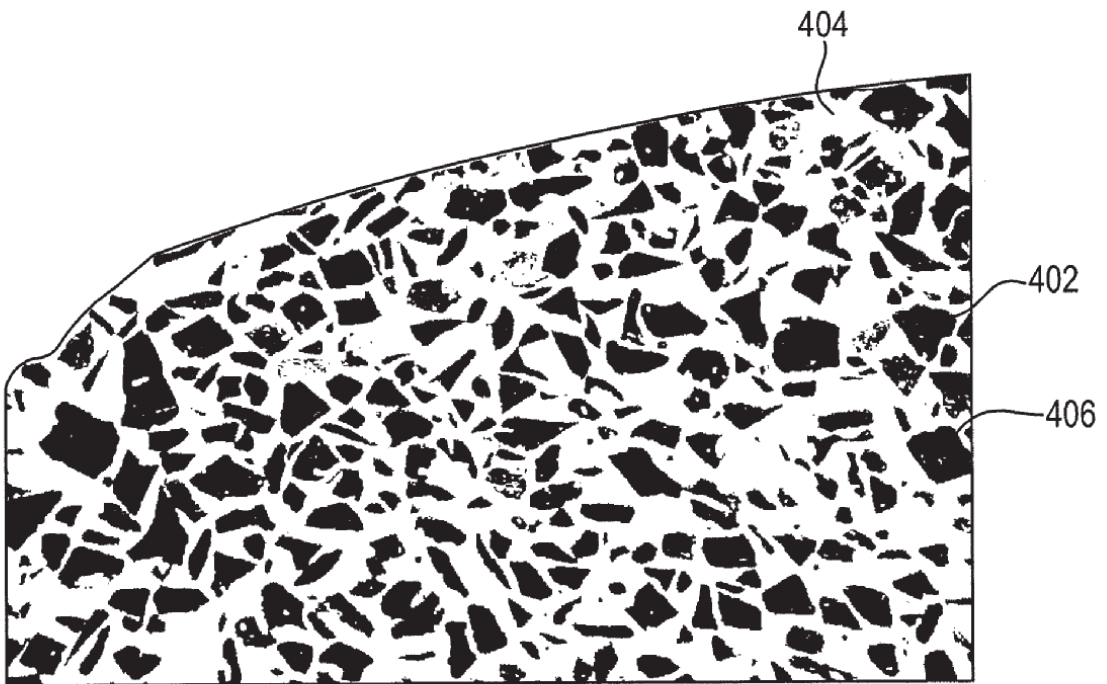


FIG. 4

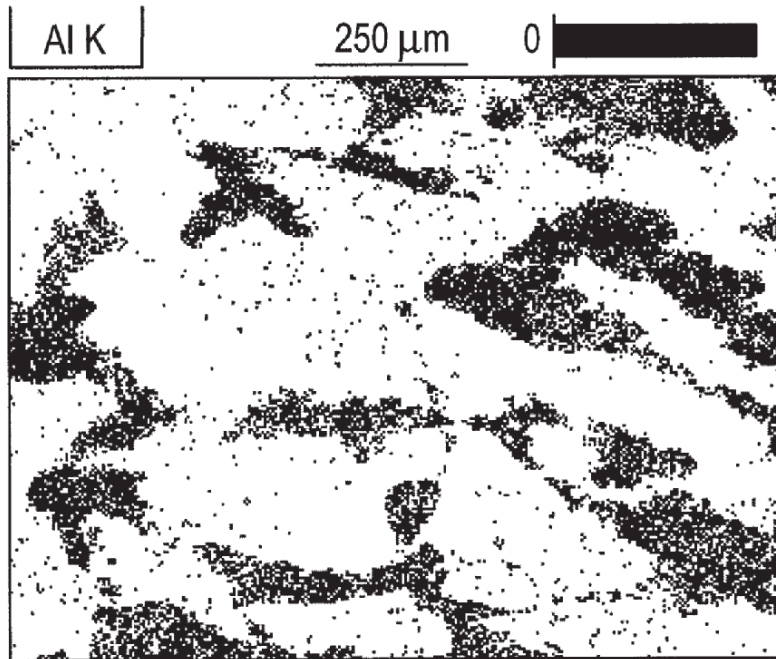


FIG. 5A

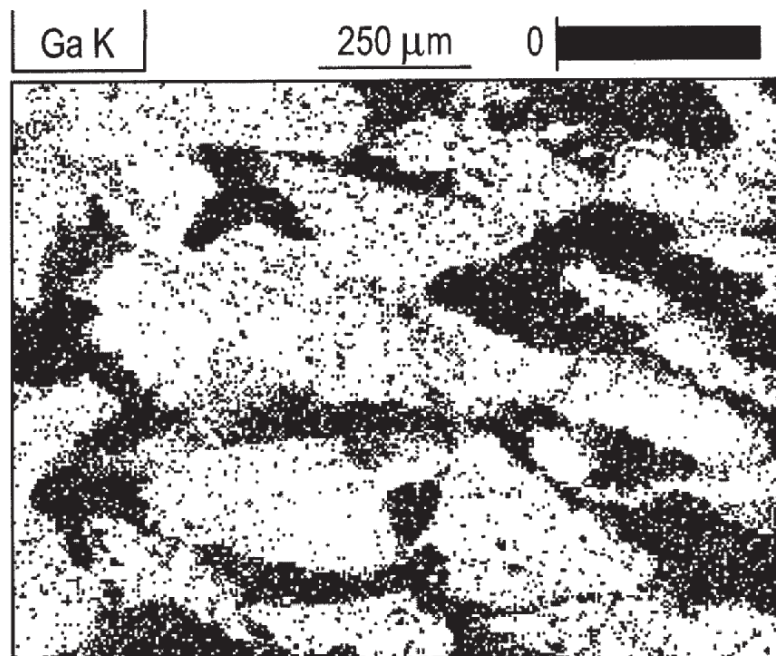


FIG. 5B

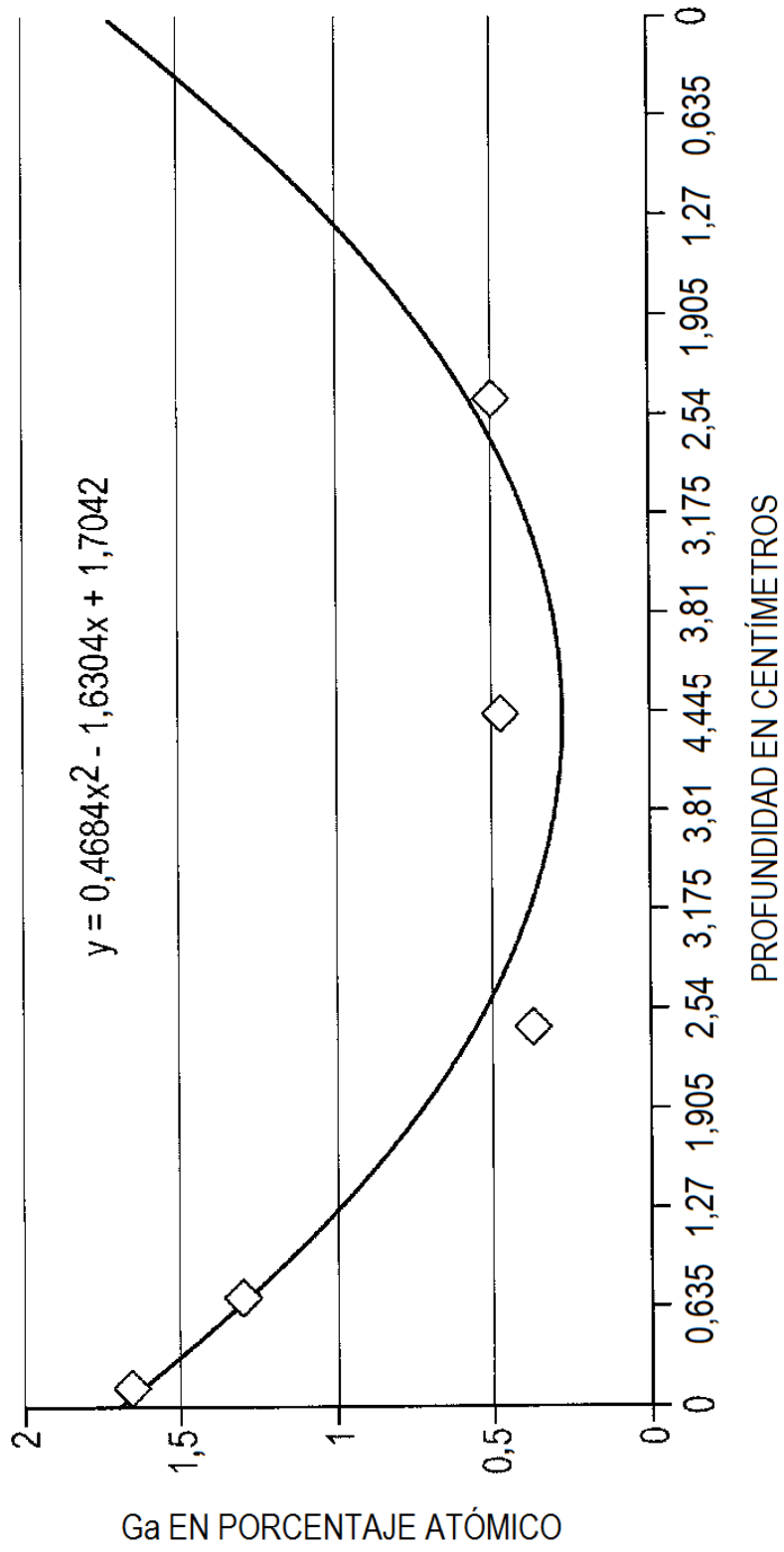


FIG. 6