

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 398 527**

51 Int. Cl.:

**B32B 3/26**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.09.2005** **E 05802199 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2013** **EP 1805005**

54 Título: **Espuma de carbono monolítica de alta resistencia**

30 Prioridad:

**21.10.2004 US 970352**

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

**19.03.2013**

73 Titular/es:

**GRAFTECH INTERNATIONAL HOLDINGS INC.  
(100.0%)  
12900 SNOW ROAD  
PARMA, OH 44130, US**

72 Inventor/es:

**MILLER, DOUGLAS J.,;  
LEWIS, IRWIN C., y  
MERCURI, ROBERT A.,**

74 Agente/Representante:

**PONTI SALES, Adelaida**

**ES 2 398 527 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

Espuma de carbono monolítica de alta resistencia

## 5 CAMPO TÉCNICO

**[0001]** La presente invención se refiere a espumas de carbono monolíticas de alta resistencia útiles para aplicaciones que incluyen el mecanizado de materiales compuestos. Más en particular, la presente invención se refiere a espumas de carbono que presentan características mejoradas de resistencia, peso y densidad.

10

## ANTECEDENTES DE LA INVENCION

**[0002]** Las espumas de carbono han atraído una actividad considerable reciente debido a sus propiedades de baja densidad, junto con una conductividad térmica muy alta o baja. Tradicionalmente, las espumas de carbono se preparan por dos rutas generales. Las espumas altamente grafitizables se han producido por tratamiento térmico de breas de mesofase a alta presión. Estas espumas tienden a tener altas conductividades térmica y eléctrica. Por ejemplo, en la patente de EE.UU. n° 6.033.506 de Klett, la brea de mesofase se calienta mientras se somete a una presión de 6,9 MPa para producir una espuma de celdas abiertas que contiene poros interconectados con un tamaño en el intervalo de 90 – 200 micrómetros. De acuerdo con Klett, después de tratamiento térmico a 2800 °C, la parte sólida de la espuma se desarrolla a una estructura gráfica altamente cristalina con un espaciado entre capas de 0,366 nm. Se afirma que la espuma tiene resistencias a la compresión mayores que las espumas previas (3,4 MPa para una densidad de 0,53 g/cc).

**[0003]** Hardcastle y col. (patente de EE.UU. n° 6.776.936) producen espumas de carbono con densidades en el intervalo de 0,678 – 1,5 g/cc calentando brea en un molde a presiones de hasta 5,5 MPa. Se alega que la espuma es altamente grafitizable y proporciona una alta conductividad térmica (250 W/m °K).

**[0004]** De acuerdo con H. J. Anderson y col. en las actas del 43th International SAMPE Meeting, pág. 756 (1998), la espuma de carbono se produce a partir de brea de mesofase seguido de termoendurecimiento oxidativo y carbonización a 900 °C. La espuma tiene una estructura de celdas abiertas de poros interconectados con formas variadas y con diámetros de poros que están en el intervalo de 39 a más de 480 micrómetros.

**[0005]** Rogers y col., en las actas de la 45th SAMPE Conference, pág. 293 (2000), describe la preparación de espumas de carbono a partir de precursores basados en carbón, por tratamiento térmico a alta presión para dar materiales con densidades de 0,35 – 0,45 g/cc con resistencias a la compresión de 13,8 MPa – 20,7 MPa (por lo tanto, una relación de resistencia/densidad de aproximadamente 41 MPa/g/cc). Estas espumas tienen una estructura de celdas abiertas de poros interconectados con tamaños de poros en el intervalo de hasta 1000 micrómetros. A diferencia de las espumas de brea de mesofase descritas antes, no son altamente grafitizables. En una publicación reciente se describen las propiedades de este tipo de espuma (High Performance Composites September 2004, pág. 25). La espuma tiene una resistencia a la compresión de 5,5 MPa con una densidad de 0,27 g/cc o una relación de resistencia a densidad de 20 MPa/g/cc.

**[0006]** Stiller y col. (patente de EE.UU. n° 5.888.469) describen la producción de espumas de carbono por tratamiento con calor y presión de un extracto de carbón tratado con hidrógeno. Se reivindica que estos materiales tienen altas resistencias a la compresión de 4,1 MPa para densidades de 0,2 – 0,4 g/cc (relación resistencia/densidad de 10,3 MPa/g/cc – 20,5 MPa/g/cc). Se sugiere que estas espumas son más fuertes que las que tienen una naturaleza de carbono tipo vidrio o vítrea que no son grafitizables.

**[0007]** Las espumas de carbono también se pueden producir por carbonización directa de polímeros o mezclas de precursores de polímeros. Mitchell, en la patente de EE.UU. n° 3.302.999, discute la preparación de espumas de carbono por calentamiento de una espuma de polímero de poliuretano a 200 – 255 °C en aire, seguido de carbonización en una atmósfera inerte a 900 °C. Estas espumas tienen densidades de 0,085 – 0,387 g/cc y resistencias a la compresión de 0,9 – 14,1 MPa (relación de resistencia/densidad 10,6 MPa/g/cc – 36,4 MPa/g/cc).

**[0008]** En la patente de EE.UU. n° 5.945.084, Droege describía la preparación de espumas de carbono de celdas abiertas por tratamiento térmico de geles orgánicos derivados de bencenos hidroxilados y aldehídos (precursores de resinas fenólicas). Las espumas tienen densidades de 0,3 – 0,9 g/cc y están compuestas de mesoporos pequeños con un tamaño en el intervalo de 2 a 50 nm.

**[0009]** Mercuri y col. (Actas de la 9th Carbon Conference, pág. 206 (1969)) han preparado espumas de carbono por pirólisis de resinas fenólicas. Para las espumas con un intervalo de densidad de 0,1 – 0,4 g/cc, las relaciones de resistencia a la compresión a densidad eran de 16,4 – 45,6 MPa/g/cc. Los poros eran de forma elipsoidal con diámetros de poros de 25 – 75 micrómetros, para una espuma de carbono con una densidad de 0,25 g/cc.

**[0010]** Stankiewicz (patente de EE.UU. nº 6.103.149) prepara espumas de carbono con una relación de dimensiones controlada de 0,6 – 1,2. Los titulares de la patente señalan que los usuarios a menudo requieren una espuma completamente isotrópica para unas propiedades superiores, siendo ideal una relación de dimensiones de 1,0. Se produce una espuma de carbono de celdas abiertas por impregnación de una espuma de poliuretano con una resina de carbonización seguido de curado térmico y carbonización. Por lo tanto, la relación de dimensiones de los poros de la espuma de poliuretano original ha cambiado de 1,3 – 1,4 a 0,6 – 1,2.

**[0011]** El documento US 2004/180187 describe una espuma de carbono basada en carbón que se produce por el calentamiento controlado de partículas de carbón bituminoso con contenido muy alto de material volátil, en un "molde" y en una atmósfera no oxidante.

**[0012]** El documento JP 3083637 describe una estructura de aislamiento térmico para usar en la distribución de baja temperatura.

**[0013]** El documento US4.205.055 describe un carbono y grafito de estructura de poros doble que consiste esencialmente en una aglomeración de macroporos de granos de microporos fuertemente unidos, de carbono o grafito, siendo los radios de los macroporos de la misma sustancialmente de 10 a 350  $\mu\text{m}$  y los de los microporos sustancialmente de 0,2 a 1,0  $\mu\text{m}$ , uniéndose los macroporos por canales intercomunicados que forman una estructura permeable fluida.

**[0014]** El documento US 3.666.526 describe cuerpos porosos refractarios.

**[0015]** El documento WO 03/042286 describe una espuma que consiste en al menos 70 % en peso de carbono, que tiene un tamaño medio de celdas mayor de 30  $\mu\text{m}$ , porosidad entre 35 % y 99,7 %, un porcentaje de celdas abiertas mayor de 90 %, y que comprende elementos de unión entre las celdas, las cuales vistas en corte transversal, forman un triángulo con lados curvados hacia el interior.

**[0016]** Desgraciadamente, las espumas de carbono producidas por los procedimientos de la técnica anterior no son eficaces para muchas aplicaciones a alta temperatura, tales como el mecanizado de materiales compuestos. Las espumas disponibles en general no son monolíticas y no tienen los requisitos de resistencia y de relación de resistencia a densidad para dicha aplicación. Además, las espumas de celdas abiertas con poros muy interconectados tienen porosidades que las dejan mal situadas para dichas aplicaciones.

**[0017]** Por lo tanto, lo que se desea es una espuma de carbono que sea monolítica y tenga una estructura de celdas controlable, en la que la estructura de celdas, la resistencia y la relación de resistencia a densidad haga a la espuma adecuada para usar en el mecanizado de materiales compuestos así como en otras aplicaciones. De hecho se ha encontrado que es necesaria una combinación de características, incluyendo relaciones de resistencia a densidad mayores que las contempladas en la técnica anterior, para el uso de una espuma de carbono en aplicaciones de mecanizado de materiales compuestos.

## DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

**[0018]** De acuerdo con la presente invención, se proporciona un artículo de espuma de carbono monolítica que comprende una espuma de carbono que tiene una distribución de poros de modo que un volumen de espuma del mismo está ocupado por entre 65 % y 95 % con poros, y en el que al menos 90 % de los poros tienen un diámetro entre 10 y 150  $\mu\text{m}$  y al menos 1 % de los poros tienen un diámetro entre 0,8 y 3,5  $\mu\text{m}$ , además en el que los poros de la espuma de carbono tienen, como media, una relación de dimensiones entre 1,0 y 1,5, y dicho artículo tiene una permeabilidad no mayor de 2,96  $\mu\text{m}^2$  (3,0 darcys).

**[0019]** La presente invención proporciona una espuma de carbono que se puede usar excepcionalmente en aplicaciones tales como el mecanizado de materiales compuestos. La espuma de la invención presenta una densidad, resistencia a la compresión y relación de resistencia a la compresión a densidad para proporcionar una combinación de características de resistencia y peso relativamente ligero que no se habían visto hasta ahora.

Además, la naturaleza monolítica y la estructura de celdas bimodal de la espuma, con una combinación de poros más grandes y más pequeños, que son relativamente esféricos, proporciona una espuma de carbono que se puede producir en un tamaño y configuración deseados y que se puede mecanizar fácilmente.

5 **[0020]** Más en particular, la espuma de carbono de la invención tiene una densidad de 0,05 a 0,4 gramos por centímetro cúbico (g/cc), con una resistencia a la compresión de al menos 13,8 MPa (medida, por ejemplo, por el método ASTM C695). Una característica importante para la espuma cuando está dirigida al uso en una aplicación a alta temperatura es la relación de resistencia a densidad. Para dichas aplicaciones, es necesaria una relación de resistencia a densidad de al menos 48,3 MPa/g/cc, más preferiblemente al menos 55,2 MPa/g/cc.

10 **[0021]** La espuma de carbono de la invención tiene una distribución de poros relativamente uniforme con el fin de proporcionar la alta resistencia a la compresión requerida. Además, los poros son relativamente isotrópicos, por lo cual se entiende que los poros son relativamente esféricos, lo que significa que los poros tienen, como media, una relación de dimensiones entre 1,0 (que representa una geometría esférica perfecta) y 1,5. La relación de  
15 dimensiones se determina dividiendo la dimensión más larga de cualquier poro entre su dimensión más corta.

**[0022]** La espuma tiene una porosidad total de 65 % a 95 %, más preferiblemente de 70 % a 95 %. Además, tiene una distribución de poros bimodal, es decir, una combinación de dos tamaños medios de poros, siendo la fracción principal la de los poros de mayor tamaño y la fracción minoritaria la de los poros de menor tamaño, al menos 90 %  
20 del volumen de poros, más preferiblemente al menos 95 % del volumen de poros son la fracción de tamaño mayor, y al menos 1 % del volumen de poros, más preferiblemente de 2 % a 10 % del volumen de poros, son la fracción de menor tamaño.

**[0023]** La fracción de poros mayores de la distribución de poros bimodal de la espuma de carbono de la invención  
25 tiene de 10 a 150  $\mu\text{m}$  de diámetro, más preferiblemente de 15 a 95  $\mu\text{m}$  de diámetro, más preferiblemente de 25 a 95  $\mu\text{m}$  de diámetro. La fracción de poros menores comprende poros que tienen un diámetro de 0,8 a 3,5  $\mu\text{m}$ , más preferiblemente de 1 a 2  $\mu\text{m}$ . La naturaleza bimodal de las espumas de la invención proporciona una estructura intermedia entre las espumas de celdas abiertas y las espumas de celdas cerradas, limitando de esta forma la permeabilidad de la espuma a líquidos mientras que mantiene una estructura de espuma. Realmente, las espumas  
30 de carbono de la invención presentan una permeabilidad que no es mayor de 2,96  $\mu\text{m}^2$  (3,0 darcys), más preferiblemente no mayor de 1,97  $\mu\text{m}^2$  (2,0 darcys) (medida, por ejemplo, por el método de ASTM C577).

**[0024]** Ventajosamente, para producir las espumas de la invención, se carboniza un bloque de espuma polimérica, en particular un bloque de espuma fenólica, en una atmósfera inerte o exenta de aire, a temperaturas que pueden  
35 estar en el intervalo de 500 °C, más preferiblemente al menos 800 °C, hasta 3200 °C, para preparar espumas de carbono útiles en aplicaciones de alta temperatura.

**[0025]** Por lo tanto, un objeto de la invención es una espuma de carbono monolítica que tiene características que permiten usarla en aplicaciones de alta temperatura tales como aplicaciones de mecanizado de materiales  
40 compuestos.

**[0026]** Otro objeto de la invención es una espuma de carbono que tiene la densidad, resistencia a la compresión y relación de resistencia a la compresión a densidad suficientes para aplicaciones a alta temperatura.

45 **[0027]** Otro objeto más de la invención es una espuma de carbono que tiene una porosidad y una estructura y distribución de celdas para proporcionar utilidad en aplicaciones en las que no es deseable una porosidad altamente conectada.

**[0028]** Otro objeto más de la invención, es una espuma de carbono que se puede producir con un tamaño y configuración deseados, y que se puede maquinar o unir fácilmente para proporcionar estructuras de espuma de  
50 carbono mayores.

**[0029]** Estos y otros aspectos que serán evidentes para el experto tras la revisión de la siguiente descripción, se pueden lograr proporcionando un artículo de espuma de carbono formado de una espuma de carbono que tiene una  
55 relación de resistencia a la compresión a densidad de al menos 48,3 MPa/g/cc, en especial una relación de resistencia a la compresión a densidad de al menos 55,2 MPa/g/cc. La espuma de carbono de la invención tiene ventajosamente una densidad de 0,05 a 0,4 y una resistencia a la compresión de al menos 13,8 MPa, y una porosidad entre 65 % y 95 %. Los poros de la espuma de carbono tienen, como media, una relación de dimensiones entre 1 y 1,5.

**[0030]** Al menos 90 % del volumen de poros de los poros tienen un diámetro entre 10 y 150  $\mu\text{m}$ ; realmente, preferiblemente al menos 95 % del volumen de poros de los poros tiene un diámetro entre 25 y 95  $\mu\text{m}$ . 1 % del volumen de poros de los poros tiene un diámetro entre 0,8 y 3,5  $\mu\text{m}$ , más preferiblemente, de 2 % a 10 % del volumen de poros de los poros tiene un diámetro de 1 a 2  $\mu\text{m}$ .

**[0031]** La espuma de la invención se puede producir por carbonización de un artículo de espuma de polímero, en especial una espuma fenólica, en una atmósfera inerte o exenta de aire. La espuma fenólica preferiblemente debería tener un resistencia a la compresión de al menos 0,7 MPa.

10

**[0032]** Debe entenderse que tanto la descripción general anterior como la siguiente descripción detallada proporcionan realizaciones de la invención, y se pretende que proporcionen una visión general o un marco de entendimiento de la naturaleza y el carácter de la invención como se reivindica.

## 15 MEJOR MODO DE LLEVAR A CABO LA INVENCION

**[0033]** Las espumas de carbono de acuerdo con la presente invención, se preparan a partir de espumas poliméricas, tales como espumas de poliuretano o espumas fenólicas, siendo preferidas las espumas fenólicas. Las resinas fenólicas son una gran familia de polímeros y oligómeros, compuesta de una amplia variedad de estructuras basadas en los productos de reacción de fenoles con formaldehído. Las resinas fenólicas se preparan por la reacción de fenol o fenol sustituido con un aldehído, en especial formaldehído, en presencia de un catalizador ácido o básico. La espuma de resina fenólica es un sistema curado compuesto de celdas abiertas y cerradas. Las resinas en general son resoles acuosos catalizados por hidróxido de sodio con una relación de formaldehído:fenol que puede variar, pero preferiblemente es aproximadamente 2:1. El contenido de fenol y formaldehído libres debe ser bajo, aunque se puede usar urea como un depurador de formaldehído.

**[0034]** La espuma se prepara ajustando el contenido de agua de la resina y añadiendo un tensioactivo (p. ej., uno no iónico etoxilado), un agente de soplado (p. ej., pentano, cloruro de metileno o clorofluorocarbono), y un catalizador (p. ej., ácido toluenosulfónico o ácido fenolsulfónico). El ácido sulfónico cataliza la reacción, mientras que la reacción exotérmica hace que el agente de soplado emulsionado en la resina se evapore y expanda la espuma. El tensioactivo controla el tamaño de las celdas así como la relación de unidades de celdas abiertas a cerradas. Se usan tanto procedimientos discontinuos como continuos. En los procedimientos continuos, la maquinaria es similar a la usada para la espuma de poliuretano continua. Las propiedades de la espuma dependen principalmente de la densidad y la estructura de celdas.

35

**[0035]** El fenol preferido es el resorcinol, sin embargo, también se pueden usar otros fenoles del tipo que son capaces de formar productos de condensación con aldehídos. Dichos fenoles incluyen fenoles monohídricos y polihídricos, pirocatecol, hidroquinona, fenoles sustituidos con alquilo, tales como por ejemplo cresoles o xilenoles; fenoles monohídricos y polihídricos polinucleares tales como, por ejemplo, naftoles, p,p'-dihidroxi-difenil-dimetilmetano o hidroxiantracenos.

40

**[0036]** Los fenoles usados para hacer el material de partida de la espuma también se pueden usar en una mezcla con compuestos no fenólicos que pueden reaccionar con aldehídos de la misma forma que los fenoles.

**[0037]** El aldehído preferido para usar en la disolución es formaldehído. Otros aldehídos adecuados incluyen los que reaccionen con fenoles de la misma forma. Estos incluyen, por ejemplo, acetaldehído y benzaldehído.

**[0038]** En general, los fenoles y aldehídos que se pueden usar en el procedimiento de la invención son los descritos en las patentes de EE.UU. n° 3.960.761 y 5.047.225, cuyas descripciones se incorporan en la presente memoria por referencia.

50

**[0039]** La espuma polimérica usada como material de partida en la producción de la espuma de carbono de la invención, debe tener una densidad inicial que refleje la densidad final deseada para la espuma de carbono que se va a formar. En otras palabras, la espuma polimérica debe tener una densidad de 0,1 a 0,6 g/cc, más preferiblemente de 0,1 a 0,4 g/cc. La estructura de celdas de la espuma polimérica es cerrada con una porosidad entre 65 % y 95 % y una resistencia a la compresión relativamente alta, es decir, del orden de al menos 0,7 MPa, y tan alta como 2,1 MPa o mayor.

55

**[0040]** Con el fin de convertir la espuma polimérica en espuma de carbono, la espuma se carboniza calentando a

una temperatura de 500 °C, más preferiblemente al menos 800 °C, hasta 3200 °C, en una atmósfera inerte o exenta de aire, tal como en presencia de nitrógeno. La velocidad de calentamiento debe controlarse de modo que la espuma de polímero se lleve a la temperatura deseada a lo largo de un periodo de varios días, puesto que la espuma polimérica puede contraerse tanto como aproximadamente 50 % o más durante la carbonización. Se debe tener cuidado de asegurar un calentamiento uniforme de la pieza de espuma de polímero para la carbonización eficaz.

10 **[0041]** Mediante el uso de una espuma polimérica calentada en un entorno inerte o exento de aire, se obtiene una espuma de carbono de tipo vidrio que no grafitiza, que tiene la densidad aproximada de la espuma de polímero de partida, pero una resistencia a la compresión de al menos 13,8 MPa y, de modo significativo, una relación de resistencia a densidad de al menos 48,3 MPa/g/cc, más preferiblemente al menos 55,2 MPa/g/cc. La espuma de carbono tiene una distribución relativamente uniforme de poros isotrópicos que tienen, como media, una relación de dimensiones entre 1,0 y 1,5.

15 **[0042]** La espuma de carbono resultante tiene una porosidad total de 65 % a 95 %, más preferiblemente de 70 % a 95 % con una distribución de poros bimodal; al menos 90 %, más preferiblemente al menos 95 % del volumen de poros de los poros tiene de 10 a 150  $\mu\text{m}$  de diámetro, más preferiblemente de 15 a 95  $\mu\text{m}$  de diámetro, lo más preferiblemente de 25 a 95  $\mu\text{m}$  de diámetro, mientras que al menos 1 %, más preferiblemente de 2 % a 10 % del volumen de poros de los poros tienen de 0,8 a 3,5  $\mu\text{m}$ , más preferiblemente de 1 a 2  $\mu\text{m}$  de diámetro. La naturaleza  
20 bimodal de la espuma de la invención proporciona una estructura intermedia entre espumas de celdas abiertas y espumas de celdas cerradas, limitando la permeabilidad de la espuma a los líquidos mientras que mantiene una estructura de espuma. Se prefieren permeabilidades menores de 2,96  $\mu\text{m}^2$  (3,0 darcys), incluso menores de 1,97  $\mu\text{m}^2$  (2,0 darcys).

25 **[0043]** Típicamente, las características tales como la porosidad y el tamaño y la forma de poros individuales se miden de forma óptica, tal como usando una montura de microscopio epoxídica usando iluminación de campo brillante, y se determinan usando software disponible en el comercio, tal como el software Image-Pro disponible en MediaCybernetic of Silver Springs, Maryland.

30 **[0044]** Con el fin de ilustrar más los principios y operación de la presente invención, se proporciona el siguiente ejemplo. Sin embargo, este ejemplo no debe considerarse en ningún caso como limitante.

### Ejemplo

35 **[0045]** Un bloque de espuma fenólica rectangular con unas dimensiones de 19,8 cm de largo, 9,9 cm de ancho y 7,4 cm de grosor, se convierte en espuma de carbono de la siguiente forma. La espuma fenólica de partida tiene una densidad de 0,32 g/cc y una resistencia a la compresión de 2,1 MPa. La espuma se empaqueta en una lata de acero protegida del aire y se calienta a 2 °C por hora hasta una temperatura de 550 °C y después a 10 °C por hora hasta 900 °C, y se mantiene durante 20 h a esta temperatura. La espuma de carbono resultante obtenida tiene una  
40 densidad de 0,336 g/cc y una resistencia a la compresión de 29 MPa, para una relación de resistencia a densidad de 79,2 MPa/g/cc. La conductividad térmica de la espuma medida es 0,3 W/m °K a 25 °C y la permeabilidad medida es 0,167  $\mu\text{m}^2$  (0,17 darcys).

45 **[0046]** La espuma se examinó por microscopía óptica y la porosidad medida de la espuma es de 79,5 %. Se observaron dos grupos de poros, y los poros aparecían redondos con diámetros bastante uniformes. Se usa un procedimiento de análisis de imagen para determinar los diámetros medios y las relaciones de dimensiones de los dos grupos diferentes de poros. Para los poros de tamaño grande, con diámetros por encima de 25  $\mu\text{m}$ , el diámetro medio calculado es 35  $\mu\text{m}$  con una desviación típica de 24  $\mu\text{m}$ . La relación de dimensiones de los poros calculada es 1,16, que muestra que son esencialmente esféricos. Estos poros grandes dan cuenta de 96 % del volumen de poros  
50 de la porosidad total. Los poros de tamaño menor, que dan cuenta de 4 % del volumen de poros de la porosidad total, tienen un diámetro medio de 1,75  $\mu\text{m}$  con una desviación típica de 0,35. La relación de dimensiones medida de estos poros es 1,10.

55 **[0047]** La estructura de poros de la espuma es única comparada con otras espumas, en cuanto que parece intermedia entre una configuración de celdas cerradas y celdas abiertas. Los poros grandes parece que están solo débilmente conectados entre sí por la porosidad fina, de modo que la espuma presenta permeabilidad en presencia de agua pero no absorbe fácilmente líquidos más viscosos.

**[0048]** Se produce una serie de espumas de carbono usando materiales precursores de diferentes densidades. Las propiedades de los productos se listan a continuación:

	Espuma 1	Espuma 2	Espuma 3
Densidad g/cc	0,266	0,366	0,566
Resistencia a la compresión	15,7 MPa	29 MPa	62 MPa
Resistencia a la compresión/Densidad	58,6 MPa/g/cc	79,2 MPa/g/cc	110 MPa/g/cc

5 **[0049]** Por consiguiente, mediante la práctica de la presente invención, se preparan espumas de carbono que tienen características no reconocidas hasta ahora. Estas espumas presentan relaciones de resistencia a la compresión a densidad excepcionalmente altas y tienen una estructura de celdas bimodal característica, que las hace excepcionalmente eficaces en aplicaciones tales como aplicaciones de mecanizado de materiales compuestos.

**REIVINDICACIONES**

1. Un artículo de espuma de carbono monolítica que comprende una espuma de carbono que tiene una distribución de poros tal que un volumen de espuma del mismo está ocupado entre 65 % y 95 % por poros, y en el que al menos 90 % de los poros tienen un diámetro entre 10 y 150  $\mu\text{m}$  y al menos 1 % de los poros tiene un diámetro entre 0,8 y 3,5  $\mu\text{m}$ , en el que además los poros de la espuma de carbono tienen, como media, una relación de dimensiones entre 1,0 y 1,5, y dicho artículo tiene una permeabilidad no mayor de 2,96  $\mu\text{m}^2$  (3,0 darcys).
2. El artículo de la reivindicación 1, en el que al menos 95 % de los poros tienen un diámetro entre 25 y 100  $\mu\text{m}$ .
3. El artículo de la reivindicación 1, en el que de 2 % a 10 % de los poros tienen un diámetro de 1 a 2  $\mu\text{m}$ .
4. El artículo de la reivindicación 1, en el que la espuma de carbono tiene una relación de resistencia a la compresión a densidad de al menos 48,3 MPa/g/cc.
5. El artículo de la reivindicación 4, en el que la espuma de carbono tiene una relación de resistencia a la compresión a densidad de al menos 55,2 MPa/g/cc.
6. El artículo de la reivindicación 1, en el que la espuma de carbono tiene una densidad de 0,1 g/cc a 0,4 g/cc.
7. El artículo de la reivindicación 5, en el que la espuma de carbono tiene una densidad de 0,05 g/cc a 0,4 g/cc y una resistencia a la compresión de al menos 13,8 MPa.