

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 574 309**

51 Int. Cl.:

**C03C 3/085** (2006.01)

**C03C 3/087** (2006.01)

**C03C 13/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.06.2011 E 11741689 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.04.2016 EP 2588423**

54 Título: **Composición de vidrio para producir fibras de elevada resistencia y módulo elevado**

30 Prioridad:

**30.06.2010 US 360188 P**

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

**16.06.2016**

73 Titular/es:

**OCV INTELLECTUAL CAPITAL, LLC (100.0%)  
One Owens Corning Parkway  
Toledo, OH 43659, US**

72 Inventor/es:

**HOFMANN, DOUGLAS ALAN y  
MCGINNIS, PETER BERNARD**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 574 309 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

Composición de vidrio para producir fibras de elevada resistencia y módulo elevado

5 **Referencia cruzada a solicitudes relacionadas**

La presente solicitud reivindica la prioridad y el resto de beneficios de la solicitud provisional de Estados Unidos con número de serie 61/360.188, que se incorpora por referencia en su totalidad.

10 **Campo técnico y aplicabilidad industrial**

La presente invención se refiere de forma general a una composición de vidrio, y más especialmente, a una composición de vidrio de alto rendimiento que tiene propiedades de formación aceptables, y cuyos componentes se funden en un crisol refractario. Las fibras de vidrio formadas a partir de la composición de la invención tienen una elevada resistencia y un módulo mejorado y se pueden utilizar para reforzar matrices de material compuesto cuando se desea elevada resistencia, rigidez y ligereza de peso.

**Antecedentes**

20 Las fibras de vidrio se fabrican a partir de diferentes materias primas combinadas en proporciones específicas para producir una composición química deseada. Esta colección de materiales se denomina normalmente un "lote de vidrio". Para formar las fibras de vidrio, normalmente, el lote de vidrio se funde en un crisol o equipo de fusión, el vidrio fundido se estira en filamentos a través de un casquillo o placa de orificios, y se aplica a los filamentos una composición de dimensionamiento que contiene lubricantes, agentes de acoplamiento, y resinas aglutinantes formadoras de película. Una vez que se ha aplicado el dimensionamiento, las fibras se pueden reunir en una o más hebras y enrollarse en un envase o, como alternativa, las fibras pueden cortarse mientras siguen húmedas, y recogerse. Las hebras cortadas recogidas se pueden secar y endurecer a continuación para formar fibras cortadas secas, o bien se pueden envasar en su estado húmedo como fibras cortadas húmedas.

30 La composición del lote de vidrio y del vidrio fabricado a partir del mismo se suele expresar en términos de porcentajes de los componentes, que se expresan principalmente como óxidos. SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, y cantidades poco importantes de otros compuestos como TiO<sub>2</sub>, Li<sub>2</sub>O, BaO, SrO, ZnO, ZrO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, flúor, y SO<sub>3</sub> son componentes habituales de un lote de vidrio. Se pueden producir numerosos tipos de vidrios variando las cantidades de dichos óxidos, o eliminando alguno de los óxidos del lote de vidrio. Los ejemplos de este tipo de vidrios que se pueden producir incluyen el vidrio R, el vidrio E, el vidrio S, el vidrio A, el vidrio C, y el vidrio ECR. La composición del vidrio controla la formación y las propiedades de producto del vidrio. Otras características de las composiciones de vidrio incluyen el coste de la materia prima y el impacto ambiental.

40 Existe una combinación única de propiedades de formación que permiten a un vidrio fundirse y distribuirse en un recipiente refractario convencional y el sistema de distribución de vidrio. En primer lugar, la temperatura a la que se mantiene el vidrio debe ser lo suficientemente baja para que el material refractario no se altere. El material refractario se puede alterar, por ejemplo, si se supera la temperatura máxima de uso del material refractario, o aumentando la velocidad a la que el vidrio corroe y erosiona el material refractario hasta un nivel inaceptablemente elevado. La velocidad de corrosión del material refractario aumenta a medida que el vidrio se vuelve más fluido por una disminución en la viscosidad del vidrio. Por tanto, para que el vidrio se funda en un recipiente refractario, la temperatura del material refractario debe mantenerse por debajo de determinada temperatura y la viscosidad del vidrio (es decir, la resistencia al flujo) debe mantenerse por encima de un determinado valor. Asimismo, la temperatura del vidrio en la unidad de fundición, así como a lo largo de la totalidad del proceso de distribución y formación de la fibra, debe ser lo suficientemente elevado para evitar la cristalización del vidrio (es decir, debe mantenerse a una temperatura por encima de la temperatura del liquidus).

50 En el equipo de fabricación de fibra, es habitual requerir un diferencial mínimo de temperatura entre la temperatura seleccionada para la formación de la fibra (es decir, temperatura de formación) y la temperatura del liquidus del vidrio. Este diferencial de temperatura,  $\Delta T$ , es una medida de lo fácilmente que se pueden conformar fibras continuas sin que la producción de fibras se vea interrumpida por roturas ocasionadas por la desvitrificación de los cristales. De acuerdo con ello, es deseable tener un  $\Delta T$  tan grande como sea posible para conseguir una formación ininterrumpida de fibra de vidrio.

60 En la búsqueda de fibras de vidrio que tengan un elevado rendimiento final,  $\Delta T$  tiene, a veces, que sacrificarse para conseguir las propiedades finales deseadas. La consecuencia de este sacrificio es el requisito de que el vidrio se funda en un horno revestido de platino o aleación de platino, bien porque la temperatura supera la temperatura máxima de uso final de los materiales refractarios convencionales o porque la viscosidad del vidrio era tal que la temperatura del cuerpo de cristal no se puede mantener por encima de la temperatura de liquidus a la vez que se produce una viscosidad del vidrio suficientemente elevada para mantener la corrosión del material refractario a un nivel aceptable. El vidrio S2 es un ejemplo donde se producen ambos fenómenos. La temperatura de fusión del vidrio S2 es demasiado elevada para los materiales refractarios habituales, y la  $\Delta T$  es muy pequeña (o negativa),

haciendo de esta forma que el vidrio sea muy fluido y muy corrosivo para los materiales refractarios convencionales a temperaturas del vidrio superiores a la temperatura del liquidus. El vidrio R convencional tienen también un  $\Delta T$  muy pequeño, y por tanto se funde en crisoles de platino o revestidos de platino.

5 De esta manera, existe una necesidad en la técnica de composiciones de vidrio de alto rendimiento que retengan propiedades mecánicas y físicas (por ejemplo, módulo específico y resistencia a la tensión específica) favorables y propiedades de formación (por ejemplo, la temperatura del liquidus y la temperatura de formación) donde la temperatura de formación es lo suficientemente baja y la diferencia entre la temperatura de formación y el liquidus es lo suficientemente grande para permitir que los componentes de la composición de vidrio se fundan en un tanque refractario convencional.

## Sumario

15 En una realización de la invención, se proporciona una composición que incluye  $\text{SiO}_2$  en una cantidad de aproximadamente 69,5 a aproximadamente un 80,0 % en peso,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en una cantidad de aproximadamente 5,0 a aproximadamente 18,5 % en peso, CA en una cantidad de 0,0 a aproximadamente 3,0 % en peso,  $\text{MgO}$  en una cantidad de aproximadamente 5,0 a aproximadamente 14,75 % en peso,  $\text{Li}_2\text{O}$  en una cantidad de aproximadamente 3,25 a aproximadamente 4,0 % en peso, y  $\text{Na}_2\text{O}$  en una cantidad de 0,0 a aproximadamente 2,0 % en peso. La expresión "% en peso", tal como se usa en el presente documento, se pretende que se defina como el porcentaje en peso de la composición total. En realizaciones ilustrativas, la composición de vidrio está exenta o sustancialmente exenta de  $\text{B}_2\text{O}_3$  y flúor, aunque bien se puede añadir en pequeñas cantidades para ajustar las propiedades de formación de la fibra y de la fibra terminada sin afectar negativamente las propiedades si se mantiene por debajo de determinado porcentaje. Tal como se usa en el presente documento, sustancialmente exento de  $\text{B}_2\text{O}_3$  y flúor significa que las sumas de las cantidades de  $\text{B}_2\text{O}_3$  y flúor presente en la composición es inferior al 1 % en peso de la composición. La suma de las cantidades de  $\text{B}_2\text{O}_3$  y flúor presente en la composición puede ser inferior al 0,5 % en peso de la composición, o inferior al 0,2 % en peso de la composición. Además, la composición puede contener opcionalmente cantidades traza de otros componentes o impurezas que no se hayan añadido intencionadamente. Además, la composición de vidrio tiene una temperatura de formación (también denominada en el presente documento como viscosidad de formación o temperatura de formación de la fibra o log 3 temperatura) que es lo suficientemente baja para utilizar crisoles de material refractario de bajo coste en lugar de los costosos crisoles revestidos de aleación de platino en la formación de fibras de vidrio.

35 En otra realización de la presente invención, una fibra de vidrio continua formada de la composición anteriormente descrita se produce usando un recipiente crisol refractario. Mediante el uso de un tanque refractario formado de bloques refractarios, se pueden reducir los costes de fabricación asociados con la producción de fibras de vidrio producidas por la composición de la invención. Las composiciones de vidrio se pueden usar para formar hebras de vidrio continuo a utilizar en aplicaciones donde se requiera una elevada resistencia rigidez y baja densidad.

40 En otra realización más de la presente invención, se proporciona un material reforzado formado por un material de matriz y una pluralidad de fibras formadas con la composición anteriormente descrita. El material de matriz puede ser cualquier resina termoplástica o termoendurecible conocida por los expertos en la materia, e incluye materiales termoplásticos tales como poliésteres, polipropileno, poliamida, politereftalato de etileno, y polibutileno, y resinas termoendurecibles tales como resinas epoxi, poliésteres insaturados, fenólicos, ésteres de vinilo, y elastómeros. Las resinas de polímero se pueden usar solas o combinadas para formar el producto final de material compuesto.

45 En una realización adicional de la presente invención, se proporciona un método para formar una fibra de vidrio de alto rendimiento. Las fibras se pueden formar obteniendo los ingredientes iniciales y mezclar los componentes en las cantidades adecuadas para proporcionar los porcentajes en peso deseados de la composición final. El lote mezclado se funde a continuación en un crisol refractario tradicional y estirarse a través de los orificios de un casquillo hecho en aleación de platino para formar fibras de vidrio. Las hebras de fibra de vidrio se forman reuniendo los filamentos individuales entre sí. Las hebras se pueden enrollar y procesarse adicionalmente de una forma convencional adecuada para la aplicación prevista. Las fibras de vidrio de la presente invención se pueden obtener por cualquiera de los métodos de formación de fibras de vidrio descritos en el presente documento.

50 En otra realización de la presente invención, las fibras de vidrio formadas con las composiciones de la invención tienen una temperatura de liquidus no superior a aproximadamente 1510 o aproximadamente 1500 °C, una temperatura log 3 inferior a aproximadamente 1550 °C y una  $\Delta T$  de hasta aproximadamente 250 °C.

60 En una realización de la presente invención, las fibras de vidrio formadas a partir de las composiciones de la invención tienen una temperatura de liquidus no superior a aproximadamente 1440 °C, una temperatura log 3 inferior a aproximadamente 1410 °C y una  $\Delta T$  de hasta aproximadamente 50 °C.

65 En otra realización, las fibras de vidrio formadas a partir de la composición de la invención tienen una resistencia a la tracción de fibra virgen de entre aproximadamente 4200 y aproximadamente 5000 MPa, un módulo entre aproximadamente 78 y aproximadamente 86 u 86,5 GPa y una densidad de aproximadamente 2,35 a aproximadamente 2,46 g/cc.

En una realización adicional de la invención, las fibras de vidrio formadas a partir de la composición de la invención tienen un módulo específico entre aproximadamente 33,9 MJ/kg y aproximadamente 35,0 MJ/kg y una resistencia específica de entre aproximadamente 1,74 MJ/kg y aproximadamente 2,09 MJ/kg.

5 En otra realización de la presente invención, la composición vítrea tiene una viscosidad de formación que sea lo suficientemente baja, y un  $\Delta T$  que sea lo suficientemente grande, para utilizar crisoles refractarios de bajo coste en lugar de los caros crisoles revestidos de platino convencionales en la formación de fibras de vidrio.

10 En otra realización de la presente invención, las fibras formadas a partir de la composición de la invención se forman a un coste inferior debido a la menor energía necesaria para fundir la composición de vidrio.

El objeto anterior y otros objetos, características, y ventajas de la invención aparecerán más completamente a partir de ahora en el presente documento en consideración a la descripción detallada que sigue.

## 15 Descripción detallada y realizaciones preferidas

Salvo que se indique de otra manera, todos los términos técnicos y científicos utilizados en el presente documento tienen el mismo significado que el que entiende comúnmente una persona normalmente experta en la técnica a la cual pertenece la invención. Aunque se pueden usar cualesquiera métodos y materiales similares o equivalentes a los descritos en el presente documento para llevar a la práctica o en el ensayo de la presente invención, los materiales y métodos preferidos se describen en el presente documento. Todas las referencias citadas en el presente documento, incluyendo las solicitudes de patente estadounidenses o extranjeras publicadas o correspondientes, patentes concedidas en EEUU o en otros países, y cualquier otra referencia, se incorpora, cada una de ellas, por referencia en su totalidad, incluyendo todos los datos, tablas, figuras, y texto presentado en las referencias citadas. Los términos "Composición" y "formulación" se pueden usar indistintamente en el presente documento. Además, la expresión "composición de vidrio de la invención" y "composición de vidrio" se pueden usar indistintamente.

30 La presente invención se refiere a una composición de vidrio utilizada para formar fibras de vidrio continuas que tienen una resistencia y un módulo mejorados, y una baja densidad. En particular, la presente invención se refiere a una composición de vidrio adecuada para preparar fibras de vidrio que tienen un valor excelente del módulo y de la densidad. En algunas realizaciones, la composición de vidrio tiene una temperatura de formación baja y un  $\Delta T$  lo suficientemente grande para permitir la utilización de crisoles de material refractario de bajo coste en forma de tanque para la formación de las fibras de vidrio en lugar de los equipos de fusión convencionales de alto coste formados de platino. Sorprendentemente, se ha descubierto que esto se puede conseguir sin perjudicar la resistencia del vidrio, en una composición de vidrio que comprende una cantidad relativamente elevada de  $\text{SiO}_2$ , añadiendo una cantidad relativamente elevada de  $\text{Li}_2\text{O}$ . Mediante el uso de un tanque refractario formado de bloques refractarios, se reducen los costes de fabricación asociados con la producción de fibras de vidrio producidas por la composición de la invención. Además, la energía necesaria para fundir los componentes de la composición de vidrio es inferior que la energía necesaria para fundir muchas formulaciones de vidrio comercialmente disponibles. Dichos requisitos de baja energía pueden reducir a su vez los costes de fabricación globales asociados con el vidrio de la invención. Además, la composición de la presente invención retiene la capacidad de fabricar una fibra de vidrio de alto rendimiento comercialmente aceptable y un producto de fibra producido a partir de las fibras de vidrio. En particular, las fibras de vidrio formadas usando la composición de la invención se pueden utilizar para formar productos de material compuesto que sean tanto ligeros como excepcionalmente fuertes.

50 La composición de vidrio de la invención incluye los siguientes componentes, en intervalos de porcentaje en peso, proporcionados en la Tabla 1. Tal como se usa en el presente documento, las expresiones "porcentaje en peso" y "porcentaje por peso" se pueden utilizar indistintamente, y se usan para denotar el porcentaje en peso (o porcentaje por peso) basado en la composición total.

**TABLA 1**

Sustancias químicas	% en peso
$\text{SiO}_2$	69,5 - 80,0
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5,0 - 18,5
$\text{MgO}$	5,0 - 14,75
$\text{CaO}$	0,0 - 3,0
$\text{Li}_2\text{O}$	3,25 - 4,0
$\text{Na}_2\text{O}$	0,0 - 2,0

En una realización, la composición comprende  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en una cantidad de 9,5 a 15,4 % en peso y  $\text{MgO}$  en una cantidad de 5,0 a 10,2 % en peso y por tanto incluye los componentes definidos en la Tabla 2.

**TABLA 2**

Sustancias químicas	% en peso
$\text{SiO}_2$	69,5 - 80,0
$\text{Al}_2\text{O}_3$	9,5 - 15,4
$\text{MgO}$	5,0 - 10,2
$\text{CaO}$	0,0 - 3,0
$\text{Li}_2\text{O}$	3,25 - 4,00
$\text{Na}_2\text{O}$	0,0 - 2,0

5 En otra realización, la composición de vidrio comprende  $\text{MgO}$  en una cantidad de 6,9 a 10,2 % en peso y por tanto incluye los componentes definidos en la Tabla 3.

**TABLA 3**

Sustancias químicas	% en peso
$\text{SiO}_2$	69,50 - 80,0
$\text{Al}_2\text{O}_3$	9,50 - 15,40
$\text{MgO}$	6,90 - 10,20
$\text{CaO}$	0,0 - 3,0
$\text{Li}_2\text{O}$	3,25 - 4,00
$\text{Na}_2\text{O}$	0,0 - 2,0

10 En otra realización, la composición de vidrio comprende  $\text{SiO}_2$  en una cantidad de 69,5 a 74,5 % en peso y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en una cantidad de 10,20 a 18,5 % en peso y por tanto incluye los componentes definidos en la Tabla 4.

**TABLA 4**

Sustancias químicas	% en peso
$\text{SiO}_2$	69,50 - 74,50
$\text{Al}_2\text{O}_3$	10,20 - 18,50
$\text{MgO}$	5,00 - 14,75
$\text{CaO}$	0,0 - 3,0
$\text{Li}_2\text{O}$	3,25 - 4,00
$\text{Na}_2\text{O}$	0,0 - 2,0

15 En otra realización, la composición de vidrio comprende  $\text{SiO}_2$  en una cantidad de 69,5 a 76,5 % en peso y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en una cantidad de 5,0 a 15,4 % en peso y por tanto incluye los componentes definidos en la Tabla 5.

**TABLA 5**

Sustancias químicas	% en peso
$\text{SiO}_2$	69,50 - 76,50
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5,00 - 15,40
$\text{MgO}$	5,00 - 14,75
$\text{CaO}$	0,0 - 3,0
$\text{Li}_2\text{O}$	3,25 - 4,00
$\text{Na}_2\text{O}$	0,0 - 2,0

20

En cada una de las realizaciones representadas por las Tablas 1 a 5, CaO puede estar presente en una cantidad de 0,18 o de 0,2 a 3,0 % en peso y Na<sub>2</sub>O puede estar presente en una cantidad de 0,04 a 2,0 % en peso.

Además, las impurezas, o el material extraño, pueden estar presentes en la composición de vidrio sin afectar negativamente a los vidrios o las fibras. Dichas impurezas pueden entrar en el vidrio como impurezas de materias primas, o pueden ser productos formados mediante la reacción química de los materiales fundidos con componentes del horno. Los ejemplos no limitantes de materiales extraños incluyen cromo, zirconio, potasio, hierro, cinc, estroncio, y bario, todos los cuales pueden estar presente en sus formas de óxido, y flúor y cloro. La composición de vidrio de la presente invención puede estar exenta, o sustancialmente exenta de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y flúor.

La presente invención también se refiere a fibras de vidrio formadas a partir de la composición de vidrio de la invención anteriormente descrita. Las fibras de vidrio virgen (es decir, fibras producidas en el laboratorio no dimensionadas y no alteradas) tienen una resistencia a la tracción de la fibra de entre aproximadamente 4200 y aproximadamente 5000 MPa. Además, las fibras vírgenes tienen un módulo entre aproximadamente 78 y aproximadamente 86 GPa y una densidad de aproximadamente 2,35 a aproximadamente 2,46 g/cc (compare el vidrio S2 a 2,48 g/cc). La resistencia a la tracción de fibra también se denomina en el presente documento como "resistencia", y se mide sobre la fibra virgen usando un equipo de ensayo de tracción Instron de acuerdo con la norma ASTM D2343-09. Como se cita en el presente documento, el módulo es un promedio de medidas sobre 5 fibras de vidrio individuales, de acuerdo con el procedimiento detallado en el informe, "Glass Fiber and Measuring Facilities at the U.S. Naval Ordnance Laboratory", Informe número NOLTR 65-87, 23 de junio de 1965. La densidad se mide mediante el método de Arquímedes (norma ASTM C693-93(2008)) de un vidrio a granel no templado.

Las propiedades de formación de fibra de la composición de vidrio de la presente invención incluyen la temperatura de formación de fibra, la temperatura de liquidus, y  $\Delta T$ . La temperatura de formación de fibra se define como la temperatura que corresponde a una viscosidad de aproximadamente 1000 Poise y tal como se usa en el presente documento, se mide usando un método de rodillo giratorio (método ASTM C965-96(2007)). La temperatura de formación de fibra también se puede denominar como el log 3 temperatura de la viscosidad de formación. La disminución de la temperatura de formación de fibra puede reducir el coste de producción de las fibras de vidrio porque permite una vida útil más prolongada del casquillo y un consumo de energía reducido. Por ejemplo, a una temperatura de formación de fibra baja, el casquillo funciona a una temperatura más baja y no se "debilita" rápidamente. El debilitamiento es un fenómeno que se produce en los casquillos que se mantienen a una temperatura durante periodos prolongados de tiempo. De esta manera, al disminuir la temperatura de formación de fibra, la velocidad de debilitamiento del casquillo se puede reducir, y la vida del casquillo puede aumentar.

Además, una temperatura de formación de fibra más baja permite un rendimiento mayor ya que se puede fundir más vidrio en un periodo de tiempo dado para una entrada de energía dada. Además, una temperatura de formación de fibra más baja permite que el vidrio formado con la composición de la invención se funda en un crisol revestido de material refractario en lugar de los costosos equipos de fundición formados de platino, ya que las temperaturas tanto de fusión como de formación de la fibra están por debajo de las temperaturas de uso superior de muchos materiales refractarios comercialmente disponibles. En la presente invención, la composición de vidrio tiene una temperatura de formación de fibra (es decir, log 3 temperatura) que es inferior a aproximadamente 1550 °C. La temperatura de formación de fibra puede ser de aproximadamente 1255 o de aproximadamente 1300 °C a aproximadamente 1550 °C. En una realización, la composición de vidrio de la presente invención puede tener una temperatura de formación de fibra inferior a aproximadamente 1410 °C. En realizaciones ilustrativas, la temperatura de formación de fibra es de 1255 a 1410 °C.

La temperatura del liquidus se define como la temperatura más alta a la que existe un equilibrio entre el cristal líquido y su fase cristalina principal. Tal como se usa en el presente documento, la temperatura del liquidus se mide exponiendo la composición de vidrio a un gradiente de temperatura en un recipiente de aleación de aluminio durante 16 horas (norma ASTM C829-81(2005)). A todas las temperaturas por encima de la temperatura del liquidus, el vidrio está exento de cristales en su fase principal. A las temperaturas por debajo de la temperatura del liquidus, se pueden formar cristales. Además, la temperatura del liquidus es la temperatura más alta a la que se puede producir la desvitrificación cuando se enfría el vidrio fundido. A todas las temperaturas por encima de la temperatura del liquidus, el vidrio está completamente molido. La temperatura del liquidus de la composición de la invención, de forma deseable, no es superior a aproximadamente 1505 o aproximadamente 1500 °C, y puede variar de aproximadamente 1225 o 1240 °C a aproximadamente 1500 °C. En una realización, la temperatura del liquidus no es superior a 1440 °C y puede variar de aproximadamente 1225 °C a aproximadamente 1440 °C.

Una tercera propiedad de formación de la fibra es el " $\Delta T$ ", que se define como la diferencia entre la temperatura de formación de fibra (es decir, log 3 temperatura) y la temperatura del liquidus. Si el  $\Delta T$  es demasiado pequeño, el vidrio fundido puede cristalizar en el interior del equipo de formación de fibra y ocasionar una rotura en el proceso de fabricación. De forma deseable, el  $\Delta T$  es tan grande como sea posible para una viscosidad de formación dada. Un  $\Delta T$  más grande proporciona un mayor grado de flexibilidad durante la formación de la fibra y ayuda a evitar la desvitrificación tanto en el sistema de distribución de vidrio como en el equipo de formación de fibra. Además, un  $\Delta T$  más grande reduce el coste de producción de las fibras de vidrio permitiendo una vida más prolongada del castillo y un proceso de formación menos sensible a la temperatura. La composición de la invención puede tener un  $\Delta T$  de

hasta aproximadamente 250 °C, y en realizaciones ilustrativas, de aproximadamente -70 °C a aproximadamente 250 °C.

5 En una realización, la composición de la invención puede tener un  $\Delta T$  de hasta 100 °C y aproximadamente 250 °C. En esta realización, la composición de la invención puede corresponder a la que se ha definido en la Tabla 3 anterior.

10 Otra propiedad de importancia es el módulo específico. Es deseable disponer de un módulo específico tan elevado como sea posible para conseguir un material compuesto ligero que añada rigidez al artículo final. El módulo específico es importante en aplicaciones donde la rigidez del producto es un parámetro importante, tal como en aplicaciones de energía eólica y aplicaciones aeroespaciales. En realizaciones ilustrativas, las fibras de vidrio tienen un módulo específico de aproximadamente 33,9 MJ/kg a aproximadamente 35,0 MJ/kg (a comparar con el vidrio S2 a 36,0 MJ/kg). Además, las fibras de vidrio tienen una resistencia específica de aproximadamente 1,74 MJ/kg a aproximadamente 2,09 MJ/kg (a comparar con el vidrio S2 a 2,01 MJ/kg).

15 En una realización, las fibras de vidrio de la invención tienen un módulo específico superior a 34,1 MJ/kg, teniendo de esta forma un módulo específico que supera el del vidrio R comercial. En esta realización, las fibras de vidrio tienen un módulo específico superior a de aproximadamente 34,1 M J/kg a aproximadamente 35,0 M J/kg. En esta realización, las fibras de vidrio de la invención se pueden formar a partir de la composición definida en la Tabla 4 anterior.

20 En otra realización, las fibras de vidrio de la invención tienen una resistencia específica superior a 2,01 MJ/kg, teniendo de esta forma una resistencia que supera la del vidrio S2. En esta realización, las fibras de vidrio tienen una resistencia específica superior a de aproximadamente 2,01 M J/kg a aproximadamente 2,09 M J/kg. En esta realización, las fibras de vidrio de la invención se pueden formar a partir de la composición definida en la Tabla 5 anterior.

30 En general, las fibras de vidrio de acuerdo con la presente invención se pueden formar obteniendo las materias primas o ingredientes iniciales y mezclando o combinando los componentes de forma convencional en las cantidades adecuadas para proporcionar los porcentajes en peso deseados de la composición final. Por ejemplo, los componentes se pueden obtener a partir de ingredientes primarios o materias primas adecuados entre los que se incluyen, pero sin limitación, arena o pirofilita para SiO<sub>2</sub>, piedra caliza, cal calcinada, wollastonita, o dolomita para CaO, caolín, alúmina o pirofilita para Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dolomita, caliza dolomítica, brucita, enstatita, talco, magnesita calcinada, o magnesita de MgO, carbonato de litio o espodumeno para Li<sub>2</sub>O y carbonato de sodio, feldespato sódico o sulfato de sodio para el Na<sub>2</sub>O. También se puede utilizar vidrio triturado reciclado para suministrar uno o más de los óxidos necesarios. El lote mezclado se funde a continuación en un horno o crisol refractario tradicional, y el vidrio fundido resultante se hace pasar a lo largo de un antehogar y al interior de casquillos (por ejemplo, casquillos de aleación de platino) situados a lo largo del fondo del antehogar. Las temperaturas de funcionamiento del vidrio en el horno, antehogar, y casquillo se seleccionan para ajustar adecuadamente la viscosidad del vidrio, y se pueden mantener usando métodos adecuados tales como dispositivos de control. Preferentemente, la temperatura del extremo delantero del crisol se controla automáticamente para reducir o eliminar la desvitrificación. A continuación, el vidrio fundido se impulsa (estira) a través de los agujeros o los orificios del fondo o de la punta de la placa del casquillo para formar fibras de vidrio. Las corrientes de vidrio fundido que fluyen a través de los orificios del casquillo se transforman en filamentos enrollando una hebra formada de una pluralidad de filamentos individuales sobre un tubo de conformación montado sobre un carrete giratorio de una máquina de bobinado o se corta a una velocidad adaptable.

50 Las fibras se pueden procesar adicionalmente de una forma convencional adecuada para la aplicación prevista. Por ejemplo, las fibras de vidrio se pueden dimensionar con una composición de dimensionamiento conocida del experto en la materia. La composición de dimensionamiento no está restringida en forma alguna, y puede ser cualquier composición de dimensionamiento adecuada para su aplicación a fibras de vidrio. Las fibras dimensionadas se pueden utilizar para reforzar sustratos, tal como una variedad de plásticos, donde el uso final del producto requiere una elevada resistencia y rigidez junto a un bajo peso. Dichas aplicaciones incluyen, pero no de forma limitativa, telas tejidas para su uso en la formación de turbinas eólicas, revestimiento de armaduras, y estructuras aeroespaciales. En este sentido, la presente invención también incluye un material compuesto que incluye las fibras de vidrio de la invención, como se ha descrito anteriormente, junto con un material de matriz endurecible. El material de matriz puede ser cualquier resina termoplástica o termoendurecible conocida por los expertos en la materia, tales como, pero sin limitarse a materiales termoplásticos tales como poliésteres, polipropileno, poliamida, politereftalato de etileno, y polibutileno, y resinas termoendurecibles tales como resinas epoxi, poliésteres insaturados, fenólicos, ésteres de vinilo, y elastómeros. Estas resinas se pueden usar solas o combinadas.

60 Habiendo descrito la presente invención de una forma general, se puede conseguir una comprensión adicional por referencia a determinados ejemplos específicos ilustrados a continuación que se proporcionan solamente con fines de ilustración y no están previstos para que sean inclusivos o limitantes salvo que se especifique otra cosa.

65

**Ejemplos****Ejemplo 1: Composiciones de vidrio de alto rendimiento**

- 5 Se prepararon composiciones de vidrio de acuerdo con la presente invención mezclando sustancias químicas de calidad reactivo en las cantidades proporcionadas para conseguir una composición de vidrio final con los porcentajes en peso de óxidos definidos en la Tabla 4. Las materias primas se fundieron en un crisol de platino en un horno calentado eléctricamente a una temperatura de 1650 °C durante 3 horas. La viscosidad de formación (es decir, la temperatura que corresponde a una viscosidad de aproximadamente 1000 Poise) se determinó usando un método de rodillo giratorio (método ASTM C965-96 (2007)). La temperatura del liquidus se midió exponiendo el vidrio a un gradiente de temperatura en un recipiente de aleación de aluminio durante 16 horas (norma ASTM C829-81(2005)). La densidad se midió mediante el método de Arquímedes (norma ASTM C693-93(2008)) de un vidrio a granel no templado. El módulo indicado en las tablas siguientes es un promedio de medidas sobre 5 fibras de vidrio individuales, de acuerdo con el procedimiento detallado en el informe, "Glass Fiber and Measuring Facilities at the U.S. Naval Ordnance Laboratory", Informe número NOLTR 65-87, 23 de junio de 1965. La resistencia se midió en filamentos vírgenes usando un equipo de ensayo de tracción Instron (ASTM D2343-09).

**TABLA 4**

Sustancias químicas	Ej. 1 (% en peso)	Ej. 2 (% en peso)	Ej. 3 (% en peso)	Ej. 4 (% en peso)	Ej. 5 (% en peso)	Ej. 6 (% en peso)	Ej. 7 (% en peso)
SiO <sub>2</sub>	72,80	80,00	71,07	71,36	72,30	72,66	72,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,38	9,54	18,50	10,28	12,99	13,99	13,34
MgO	8,93	6,90	6,87	14,75	8,35	8,77	8,49
CaO	0,52	0,25	0,25	0,29	3,00	0,50	0,46
Li <sub>2</sub> O	3,28	3,27	3,27	3,27	3,28	4,00	3,28
Na <sub>2</sub> O	0,09	0,04	0,04	0,05	0,08	0,08	2,00
Propiedad							
Viscosidad formación (Log 3 Temperatura) (°C)	1434	1551	1482	1302	1393	1405	1415
Temperatura liquidus (°C)	1303	1369	1503	1374	1237	1277	1262
Delta-T (°C) (Temperatura formación - liquidus)	131	182	-21	-72	157	128	153
Densidad (g/cc)	2,42	2,35	2,41	2,46	2,44	2,41	2,42
Módulo (Gpa)	83,6	79,7	83,8	86,2	83,5	83,4	82,9
Resistencia específica (MJ/kg)	1,92	2,09	2,07	1,79	1,85	1,9	1,88
Módulo específico (MJ/kg)	34,6	33,9	34,8	35,0	34,20	34,50	34,30

20

**TABLA 5**

Sustancias químicas	Ej. 8 (% en peso)	Ej. 9 (% en peso)	Ej. 10 (% en peso)	Ej. 11 (% en peso)	Ej. 12 (% en peso)	Ej. 13 (% en peso)
SiO <sub>2</sub>	69,51	76,53	74,50	72,98	72,80	72,82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,28	5,00	15,37	14,49	14,39	14,40
MgO	10,20	11,94	5,00	9,09	8,94	8,96
CaO	1,06	1,80	1,12	0,00	0,53	0,53
Li <sub>2</sub> O	3,44	3,65	3,46	3,30	3,25	3,29
Na <sub>2</sub> O	0,51	1,08	0,55	0,14	0,09	0,00

Sustancias químicas	Ej. 8 (% en peso)	Ej. 9 (% en peso)	Ej. 10 (% en peso)	Ej. 11 (% en peso)	Ej. 12 (% en peso)	Ej. 13 (% en peso)
<b>Propiedad</b>						
Viscosidad de formación (Log 3 Temperatura) (°C)	1365	1320	1518	1444	1437	1447
Temperatura liquidus (°C)	1263	1328	1269	1274	1268	1268
Delta-T (°C) (Temperatura formación - liquidus)	102	-8	249	170	169	180
Densidad (g/cc)	2,45	2,43	2,38	2,41	2,42	2,42
Módulo (Gpa)	85,5	82,7	81,5	83,6	83,7	83,6
Resistencia específica (MJ/kg)	1,85	1,74	2,01	1,95	1,91	1,95
Módulo específico (MJ/kg)	34,9	34,1	34,2	34,7	34,6	34,6

5 Mirando en las Tablas 4 y 5, se puede concluir que las composiciones de vidrio de los Ejemplos 1-13 tienen temperatura de viscosidad de formación (temperatura de formación de fibras) que son aplicables para su uso en hornos refractarios. Los valores del módulo específico para los vidrios supera, en algunos casos, los del vidrio R comercial (de aproximadamente 34,1 MJ/Kg) y la resistencia específica supera, en algunos casos, la del vidrio S2 comercialmente disponible de AGY (aproximadamente 2,01 MJ/Kg). Además, se puede concluir que estos vidrios son especialmente adecuados para aplicaciones que requieren al mismo tiempo una resistencia y rigidez que sean iguales o superiores al vidrio R (por ejemplo, turbinas eólicas). Además, la densidad de algunos de los vidrios mostrados en las Tablas 4 y 5 son muy bajas, lo que permite que estos vidrios se utilicen en aplicaciones 10 aeroespaciales. Este vidrio tiene propiedades similares a las del vidrio S2, cuya tenacidad es muy buena.

15 La invención de la presente aplicación se ha descrito anteriormente tanto de una forma genérica como con respecto a realizaciones específicas. Aunque la información se ha definido en lo que se cree que son las realizaciones preferidas, se puede seleccionar una amplia variedad de alternativas conocidas del experto en la materia dentro de la divulgación genérica. La invención no está limitada de ninguna manera, salvo en lo estipulado por las reivindicaciones definidas a continuación.

## REIVINDICACIONES

1. Una composición para preparar fibras de vidrio ligeras de elevada resistencia que comprende:

5 SiO<sub>2</sub> en una cantidad de aproximadamente 69,5 a aproximadamente 80,0 % en peso de la composición total,  
 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad de aproximadamente 5,0 a aproximadamente 18,5 % en peso en peso de la composición total,  
 CaO en una cantidad de 0,0 a aproximadamente 3,0 % en peso en peso de la composición total,  
 10 MgO en una cantidad de aproximadamente 5,0 a aproximadamente 14,75 % en peso en peso de la composición total,  
 Li<sub>2</sub>O en una cantidad de aproximadamente 3,25 a aproximadamente 4,0 % en peso en peso de la composición total, y  
 Na<sub>2</sub>O en una cantidad de 0,0 a aproximadamente 2,0 % en peso en peso de la composición total.

15 2. La composición de vidrio de la reivindicación 1, donde el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> está presente en una cantidad de aproximadamente 9,0 a aproximadamente 15,4 % en peso en peso de la composición total, y el MgO está presente en una cantidad de aproximadamente 5,0 a aproximadamente 10,2 % en peso de la composición total.

20 3. La composición de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, donde dicha composición está prácticamente exenta de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y flúor.

4. La composición de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde dicha composición tiene un ΔT de hasta aproximadamente 250 °C.

25 5. La composición de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde dicha composición tiene una temperatura log 3 de aproximadamente 1255 °C o de aproximadamente 1300 °C a aproximadamente 1550 °C.

30 6. La composición de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde dicha composición tiene una temperatura del liquidus no superior a aproximadamente 1510 °C.

7. La composición de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde los componentes de dicha composición se funden en un recipiente crisol refractario.

35 8. Una fibra de vidrio continua y ligera de alta resistencia producida a partir de una composición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

40 9. La fibra de vidrio de la reivindicación 8, donde la fibra de vidrio tiene un módulo específico de aproximadamente 33,9 MJ/kg a aproximadamente 35,0 MJ/kg y una resistencia específica de aproximadamente 1,74 MJ/kg a aproximadamente 2,09 MJ/kg.

45 10. La fibra de vidrio de la reivindicación 8 o la reivindicación 9, donde dicha fibra de vidrio tiene una resistencia a la tracción de la fibra virgen entre aproximadamente 4200 y aproximadamente 5000 MPa, un módulo entre aproximadamente 80 y aproximadamente 86 GPa, y una densidad entre aproximadamente 2,35 y aproximadamente 2,46 g/cc.

11. Un método para formar una fibra de vidrio continua de alto rendimiento que comprende:

50 proporcionar una composición de vidrio fundido que incluye una composición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7; y estirar dicha composición de vidrio fundido a través de los orificios de un casquillo para formar una fibra de vidrio continua.

55 12. El método de la reivindicación 11, donde la fibra de vidrio tiene un módulo específico de aproximadamente 33,9 MJ/kg a aproximadamente 35,0 MJ/kg y una resistencia específica de aproximadamente 1,74 MJ/kg a aproximadamente 2,09 MJ/kg.

60 13. El método de reivindicación 11 o la reivindicación 12, donde dicha fibra de vidrio tiene una resistencia a la tracción de la fibra virgen entre aproximadamente 4200 y aproximadamente 5000 MPa, un módulo entre aproximadamente 80 y aproximadamente 86 GPa, y una densidad entre aproximadamente 2,35 y aproximadamente 2,46 g/cc.

14. Un producto compuesto reforzado que comprende:

65 una matriz polimérica; y  
 una pluralidad de fibras de vidrio, produciéndose dichas fibras de vidrio a partir de una composición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 o fibras de vidrio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10.

15. El producto compuesto de la reivindicación 14, donde dicha matriz de polímero es un polímero termoplástico seleccionado entre poliésteres, polipropileno, poliamida, politereftalato de etileno, polibutileno y combinaciones de los mismos.
- 5 16. Un método para preparar un producto compuesto reforzado que comprende combinar al menos un material de matriz polimérica y una pluralidad de fibras de vidrio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10.
17. El uso de la fibra de vidrio de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10 o preparada de acuerdo con el método de una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13 para formar un producto compuesto reforzado.
- 10 18. El uso de la reivindicación 17 donde el producto compuesto reforzado es una turbina eólica.