

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 980 180**

51 Int. Cl.:

**C03C 3/095** (2006.01)

**C03C 3/097** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.11.2019 PCT/US2019/061923**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.06.2020 WO20112398**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.11.2019 E 19821348 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2024 EP 3887329**

54 Título: **Composición de fibra de vidrio de alto rendimiento con módulo de elasticidad mejorado**

30 Prioridad:

**26.11.2018 US 201862771250 P**

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

**30.09.2024**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KORWIN-EDSON, MICHELLE, L.**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

ES 2 980 180 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 fibra de vidrio de alto rendimiento con módulo de elasticidad mejorado

5 **Solicitudes relacionadas**

Esta solicitud reivindica la prioridad de la solicitud provisional estadounidense con número de serie 62/771.250, presentada el 26 de noviembre de 2018, titulada HIGH PERFORMANCE FIBERGLASS COMPOSITION WITH IMPROVED ELASTIC MODULUS.

10

**Antecedentes de la invención**

Las fibras de vidrio se fabrican a partir de diversas materias primas combinadas en proporciones específicas para producir una composición deseada, habitualmente denominada "lote de vidrio". Este lote de vidrio se puede fundir en un aparato de fusión y el vidrio fundido se estira para dar filamentos a través de un casquillo o placa perforada (los filamentos resultantes también se denominan fibras de vidrio continuas). A continuación, se puede aplicar a los filamentos una composición de encolado que contiene lubricantes, agentes de acoplamiento y resinas aglutinantes formadoras de película. Después de aplicar el encolado, pueden agruparse las fibras para dar una o más hebras y enrollarse en un paquete o, alternativamente, pueden cortarse las fibras mientras están húmedas y recogerse. Entonces pueden secarse y curarse las hebras cortadas recogidas para formar fibras cortadas secas o se pueden envasar en su estado húmedo como fibras cortadas húmedas.

15

20

La composición del lote de vidrio, junto con la fibra de vidrio fabricada a partir del mismo, se expresa a menudo en cuanto a óxidos contenidos en el mismo, que habitualmente incluyen 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>, TiO<sub>2</sub>, Li<sub>2</sub>O y similares. Se pueden producir numerosos tipos de vidrios variando las cantidades de estos óxidos o eliminando algunos de los óxidos del lote de vidrio. Los ejemplos de tales vidrios que se pueden producir incluyen vidrio R, vidrio E, vidrio S, vidrio A, vidrio C y vidrio ECR. La composición del vidrio controla la formación y las propiedades del producto del vidrio. Otras características de las composiciones de vidrio incluyen el coste de la materia prima y el impacto ambiental.

25

Por ejemplo, el vidrio E es un vidrio de aluminoborosilicato, generalmente libre de álcalis, y habitualmente usado en aplicaciones eléctricas. Una ventaja del vidrio E es que su temperatura de liquidus permite que las temperaturas de funcionamiento para producir fibras de vidrio sean de aproximadamente 1900 °F a 2400 °F (de 1038 °C a 1316 °C). La clasificación ASTM para hilos de fibra de vidrio E usados en placas de circuitos impresos y aplicaciones aeroespaciales define que la composición es del 52 al 56 % en peso de SiO<sub>2</sub>, del 16 al 25 % en peso de CaO, del 12 al 16 % en peso de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, del 5 al 10 % en peso de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, del 0 al 5 % en peso de MgO, del 0 al 2 % en peso de Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O, del 0 al 0,8 % en peso de TiO<sub>2</sub>, del 0,05 al 0,4 % en peso de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y del 0 al 1,0 % en peso de flúor.

30

35

Se comercializan fibras libres de boro con la marca comercial ADVANTEX® (Owens Corning, Toledo, Ohio, EE. UU.). Fibras libres de boro, tales como las descritas en la patente estadounidense n.º 5.789.329, ofrecen una mejora significativa en las temperaturas de funcionamiento en comparación con el vidrio E que contiene boro. Las fibras de vidrio libres de boro se incluyen en la definición de ASTM para fibras de vidrio E para su uso en aplicaciones de uso general.

40

El vidrio R es una familia de vidrios que se compone principalmente de óxidos de silicio, aluminio, magnesio y calcio con una composición química que produce fibras de vidrio con una resistencia mecánica mayor que las fibras de vidrio E. El vidrio R tiene una composición que contiene de aproximadamente el 58 a aproximadamente el 60 % en peso de SiO<sub>2</sub>, de aproximadamente el 23,5 a aproximadamente el 25,5 % en peso de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de aproximadamente el 14 a aproximadamente el 17 % en peso de CaO más MgO, y menos de aproximadamente el 2 % en peso de componentes diversos. El vidrio R contiene más alúmina y sílice que el vidrio E y requiere temperaturas de fusión y procesamiento más altas durante la formación de fibras. Por lo general, las temperaturas de fusión y procesamiento del vidrio R son más altas que las del vidrio E. Este aumento de la temperatura de procesamiento requiere el uso de un fundidor revestido con platino de alto coste. Además, la estrecha proximidad de la temperatura de liquidus a la temperatura de formación en el vidrio R requiere que el vidrio se fibrice a una viscosidad inferior a la del vidrio E, que habitualmente se fibrizo a o cerca de aproximadamente 1000 poises. Fibrizo el vidrio R a la viscosidad habitual de 1000 poises probablemente dará como resultado una desvitrificación de vidrio, lo que provoca interrupciones en el procedimiento y reducción de la productividad.

45

50

El documento WO2015/009686 A describe composiciones de vidrio y fibras de vidrio hechas a partir de las mismas. El documento CN103086605 A describe fibras de vidrio. El documento WO 2014/062715 A describe fibras de vidrio de alto módulo.

55

Las fibras de vidrio de alto rendimiento presentan una mayor resistencia y rigidez, en comparación con fibras de vidrio E tradicionales. En particular, para algunos productos, la rigidez es crucial para el modelado y el rendimiento. Por ejemplo, los materiales compuestos, tales como palas de turbinas eólicas, preparados a partir de fibras de vidrio con buenas propiedades de rigidez permitirían obtener palas de turbinas eólicas más largas en las estaciones eólicas generadoras de electricidad, manteniendo al mismo tiempo la flexión de la pala dentro de límites aceptables.

60

Además, se desean composiciones de vidrio de alto rendimiento que presenten propiedades mecánicas y físicas favorables (por ejemplo, módulo de elasticidad y resistencia a la tracción), manteniendo al mismo tiempo propiedades de

65

formación deseables (por ejemplo, temperatura de liquidus y temperatura de fibrización). El módulo de elasticidad es una medida de la rigidez de la fibra, que define una relación entre la tensión aplicada a un material y la deformación producida por el mismo material. Un material *rigido* tiene un módulo de elasticidad alto y sólo cambia su forma ligeramente bajo cargas elásticas. Un material *flexible* tiene un módulo de elasticidad bajo y cambia su forma de manera considerable.

5

### Resumen de la invención

La presente invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

10 En general, en la presente memoria se describe una composición de vidrio que comprende: SiO<sub>2</sub> en una cantidad desde el 50,0 hasta el 65,0 % en peso; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 18,0 hasta el 23,0 % en peso; CaO en una cantidad desde el 1 hasta el 5,0 % en peso; MgO en una cantidad desde el 9,0 hasta el 14,0 % en peso; Na<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 0,0 hasta el 1,0 % en peso; K<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 0,0 hasta menos del 1,0 % en peso; Li<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 1,0 hasta el 4,0 % en peso; TiO<sub>2</sub> en una cantidad desde el 0,0 hasta el 2,5 % en peso; Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 10,0 % en peso; La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 10,0 % en peso; Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 5,0 % en peso; y Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 5,0 % en peso. La composición de vidrio incluye una concentración total de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 2,0 hasta el 10,0 % en peso.

15

20 En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la fibra de vidrio formada a partir de la composición de vidrio tiene un módulo de elasticidad de entre 88 y 115 GPa y una resistencia a la tracción según la norma ASTM D2343-09 de al menos 4.400 MPa.

20

La composición de vidrio puede incluir además del 0 a aproximadamente el 7,0 % en peso de Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; del 0 a aproximadamente el 7,0 % en peso de Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; del 0 a aproximadamente el 2,5 % en peso de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y del 0 a aproximadamente el 2,0 % en peso de V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

25

En diversas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio está esencialmente libre de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

En diversas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye del 6,0 al 10 % en peso de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

30

En diversas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye más del 1,5 al 10 % en peso de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

En diversas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio comprende del 1,5 al 3,5 % en peso de Li<sub>2</sub>O.

35 En diversas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio comprende una razón de MgO/(CaO+SrO) superior a 2,1.

35

En diversas realizaciones a modo de ejemplo, la composición incluye al menos el 4 % en peso de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

40

También se describe en la presente memoria una fibra de vidrio formada a partir de una composición que comprende: SiO<sub>2</sub> en una cantidad desde el 50,0 hasta el 65,0 % en peso; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 18,0 hasta el 23,0 % en peso; CaO en una cantidad desde el 1 hasta el 8,5 % en peso; MgO en una cantidad desde el 9,0 hasta el 14,0 % en peso; Na<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 0,0 hasta el 1,0 % en peso; K<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 0,0 hasta menos del 1,0 % en peso; Li<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 0,0 hasta el 4,0 % en peso; TiO<sub>2</sub> en una cantidad desde el 0,0 hasta el 2,5 % en peso; Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 6,0 hasta el 10,0 % en peso; La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 10,0 % en peso; Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 5,0 % en peso; y Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 5,0 % en peso. La fibra de vidrio tiene un módulo de elasticidad de entre 88 y 115 GPa.

45

50 En diversas realizaciones a modo de ejemplo, la composición comprende del 0,5 al 3,5 % en peso de Li<sub>2</sub>O.

50

En diversas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye más del 1,5 al 10 % en peso de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

En diversas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio comprende una razón de MgO/(CaO+SrO) superior a 2,1.

55

En diversas realizaciones a modo de ejemplo, la composición incluye al menos el 4 % en peso de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

60 Otras realizaciones a modo de ejemplo se refieren a una fibra de vidrio que tiene un módulo de elasticidad de 89 a 100 GPa.

60

Aún otros aspectos a modo de ejemplo de los conceptos de la presente invención se refieren a un método para formar una fibra de vidrio continua que comprende proporcionar una composición de vidrio fundido; y estirar la composición fundida a través de un orificio para formar una fibra de vidrio continua.

65

En la presente memoria se describe de manera general un producto compuesto reforzado que comprende una matriz polimérica; y una pluralidad de fibras de vidrio formadas a partir de una composición de vidrio que comprende SiO<sub>2</sub> en una cantidad desde el 50,0 hasta el 65,0 % en peso; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 18,0 hasta el 23,0 % en peso; CaO en una cantidad desde el 1 hasta el 5,0 % en peso; MgO en una cantidad desde el 9,0 hasta el 14,0 % en peso; Na<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 0,0 hasta el 1,0 % en peso; K<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 0,0 hasta menos del 1,0 % en peso; Li<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 1,0 hasta el 4,0 % en peso; TiO<sub>2</sub> en una cantidad desde el 0,0 hasta el 2,5 % en peso, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 10,0 % en peso; La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 10,0 % en peso; Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 5,0 % en peso; y Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 5,0 % en peso. La composición de vidrio incluye una concentración total de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 2,0 al 10,0 % en peso.

Las fibras de vidrio tienen un módulo de elasticidad de entre 88 y 115 GPa y una resistencia a la tracción según la norma ASTM D2343-09 de al menos 4.400 MPa.

En algunas realizaciones a modo de ejemplo, el producto compuesto reforzado está en forma de una pala de turbina eólica.

Los objetos, características y ventajas anteriores y otros de la invención se desprenderán más completamente a continuación en la presente memoria a partir de la consideración de la siguiente descripción detallada.

## Descripción detallada

A menos que se defina lo contrario, todos los términos técnicos y científicos usados en la presente memoria tienen el mismo significado que entiende habitualmente un experto habitual en la técnica a la que pertenecen estas reivindicaciones a modo de ejemplo. La terminología usada en la presente memoria es sólo para describir realizaciones a modo de ejemplo y no se pretende que sea limitativa de las realizaciones a modo de ejemplo. Por consiguiente, no se pretende que los conceptos de la invención generales se limiten a las realizaciones específicas ilustradas en la presente memoria. Aunque también se puede usar cualquier otro método y material similar o equivalente a los descritos en la presente memoria en la práctica o las pruebas de la presente invención, en la presente memoria se describen los métodos y materiales preferidos.

Tal como se usan en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas, se pretende que las formas en singular "un", "una" y "el/la" también incluyan las formas en plural, a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

A menos que se indique lo contrario, todos los números que expresan cantidades de componentes, propiedades químicas y moleculares, condiciones de reacción, etc., usados en la memoria descriptiva y las reivindicaciones deben entenderse modificados en todos los casos por el término "aproximadamente". Por consiguiente, a menos que se indique lo contrario, los parámetros numéricos expuestos en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas son aproximaciones que pueden variar dependiendo de las propiedades deseadas que se busca obtener mediante las presentes realizaciones a modo de ejemplo. Como mínimo, cada parámetro numérico debe interpretarse a la luz del número de dígitos significativos y de los enfoques de redondeo habituales.

A pesar de que los intervalos y parámetros numéricos que exponen el alcance amplio de las realizaciones a modo de ejemplo sean aproximaciones, los valores numéricos expuestos en los ejemplos específicos se notifican con la mayor precisión posible. Sin embargo, cualquier valor numérico contiene inherentemente determinados errores que resultan necesariamente de la desviación estándar encontrada en sus mediciones de pruebas respectivas. Cada intervalo numérico facilitado a lo largo de esta memoria descriptiva y reivindicaciones incluirá cada intervalo numérico más estrecho que se encuentra dentro de tal intervalo numérico más amplio, como si dicho intervalos numéricos más estrechos estuvieran expresamente escritos en la presente memoria. Además, cualquier valor numérico notificado en los ejemplos puede usarse para definir un punto de extremo superior o inferior de un intervalo de composición más amplio descrito en la presente memoria.

La presente descripción se refiere a una composición de vidrio de alto rendimiento con un módulo de elasticidad mejorado. Dichas composiciones de vidrio son particularmente interesantes en el campo de los productos eólicos, tales como turbinas eólicas que requieren palas más largas para generar más energía. Las palas más largas requieren materiales con un módulo de elasticidad más alto para resistir las fuerzas que se les aplican sin romperse. Las composiciones de vidrio objeto incluyen litio y, opcionalmente, óxidos de tierras raras. Además, las composiciones de vidrio objeto incluyen niveles de magnesio y alúmina más altos que otras composiciones de vidrio en este espacio.

Las composiciones de vidrio descritas en la presente memoria son adecuadas para fundirse en hornos de vidrio revestidos con material refractario tradicionales comercialmente disponibles, que se usan ampliamente en la fabricación de fibras de refuerzo de vidrio.

La composición de vidrio puede estar en forma fundida, obtenible fundiendo los componentes de la composición de vidrio en un fundidor. La composición de vidrio presenta una temperatura de fibrización baja, que se define como la temperatura que corresponde a una viscosidad en estado fundido de aproximadamente 1000 Poise, tal como se determina mediante la norma ASTM C965-96 (2007). Reducir la temperatura de fibrización puede reducir el coste de producción de las fibras de vidrio porque permite una mayor vida útil del casquillo y reduce el uso de energía necesario para fundir los

## ES 2 980 180 T3

componentes de una composición de vidrio. Por lo tanto, la energía expulsada es generalmente menor que la energía necesaria para fundir muchas formulaciones de vidrio comercialmente disponibles. Dichos requisitos de energía más bajos también pueden reducir los costes globales de fabricación asociados con la composición de vidrio.

5 Por ejemplo, a una temperatura de fibrización más baja, un casquillo puede funcionar a una temperatura más fría y, por lo tanto, no se “combe” tan rápido como se observa normalmente. El “combado” es un fenómeno que se produce cuando un casquillo que se mantiene a una temperatura elevada durante periodos de tiempo prolongados pierde su estabilidad determinada. Por lo tanto, al reducir la temperatura de fibrización, se puede reducir la tasa de combado del casquillo y se puede maximizar la vida útil del casquillo.

10 En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio tiene una temperatura de fibrización inferior a 1454 °C (2650 °F), incluyendo temperaturas de fibrización de no más de 1427 °C (2600 °F), no más de 1399 °C (2550 °F), no más de 1377 °C (2510 °F), no más de 1354 °C (2470 °F), no más de 1327 °C (2420 °F), no más de 1321 °C (2410 °F), no más de 1318 °C (2405 °F), no más de 1316 °C (2400 °F), no más de 1310 °C (2390 °F) y no más de 1307 °C (2385 °F). En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio tiene una temperatura de fibrización de no más de 1.427 °C (2.600 °F), tal como no más de 1.371 °C (2.500 °F) y no más de 1.204 °C (2.200 °F). En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio tiene una temperatura de fibrización de al menos 1.093 °C (2.000 °F), incluyendo al menos 1.121 °C (2.050 °F), al menos 1.135 °C (2.075 °F), al menos 1.149 °C (2.100 °F) y al menos 1.177 °C (2.150 °F).

20 Otra propiedad de fibrización de una composición de vidrio es la temperatura de liquidus. La temperatura de liquidus se define como la temperatura más alta a la que existe un equilibrio entre vidrio líquido y su fase cristalina primaria. La temperatura de liquidus, en algunos casos, puede medirse exponiendo la composición de vidrio a un gradiente de temperatura en un recipiente de aleación de platino durante 16 horas (ASTM C829-81 (2005)). A todas las temperaturas por encima de la temperatura de liquidus, el vidrio está completamente fundido, es decir, está libre de cristales. A temperaturas por debajo de la temperatura de liquidus, se pueden formar cristales.

25 En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio tiene una temperatura de liquidus inferior a 1.427 °C (2.600 °F), incluyendo temperatura de liquidus de no más de 1.371 °C (2.500 °F), no más de 1.343 °C (2.450 °F), no más de 1.318 °C (2.405 °F), no más de 1.288 °C (2.350 °F), no más de 1.260 °C (2.300 °F), no más de 1.232 °C (2.250 °F), no más de 1.218 °C (2.225 °F), no más de 1.204 °C (2.200 °F), no más de 1.191 °C (2.175 °F) y no más de 1.177 °C (2.150 °F). En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio tiene una temperatura de liquidus de entre 1.121 °C (2.050 °F) y 1.399 °C (2.550 °F), incluyendo entre 1.166 °C (2.130 °F) y 1.366 °C (2.490 °F), entre 1.199 °C (2.190 °F) y 1.318 °C (2.405 °F) y entre 1.232 °C (2.250 °F) y 1.343 °C (2.450 °F).

35 Una tercera propiedad de fibrización es la “ $\Delta T$ ”, que se define como la diferencia entre la temperatura de fibrización y la temperatura de liquidus. Si el  $\Delta T$  es demasiado pequeño, el vidrio fundido puede cristalizar dentro del aparato de fibrización y provocar una interrupción en el procedimiento de fabricación. Es deseable que el  $\Delta T$  sea lo más grande posible para una viscosidad de formación dada porque ofrece un mayor grado de flexibilidad durante la fibrización y ayuda a evitar la desvitrificación tanto en el sistema de distribución de vidrio como en el aparato de fibrización. Un  $\Delta T$  grande reduce adicionalmente el coste de producción de las fibras de vidrio permitiendo una mayor vida útil de casquillo y un procedimiento de formación menos sensible.

40 En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio tiene un  $\Delta T$  de al menos -33 °C (-60 °F), incluyendo al menos -11 °C (-20 °F), incluyendo al menos 22 °C (40 °F), incluyendo al menos 44 °C (80 °F), incluyendo al menos 56 °C (100 °F), al menos 61 °C (110 °F), al menos 67 °C (120 °F), al menos 75 °C (135 °F), al menos 83 °C (150 °F) y al menos 94 °C (170 °F). En diversas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio tiene un  $\Delta T$  de entre 56 °C (100 °F) y 139 °C (250 °F), incluyendo entre 67 °C (120 °F) y 111 °C (200 °F), y entre 83 °C (150 °F) y 119 °C (215 °F).

50 La composición de vidrio puede incluir de aproximadamente el 50,0 a aproximadamente el 65,0 % en peso de SiO<sub>2</sub>, de aproximadamente el 18,0 a aproximadamente el 23,0 % en peso de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de aproximadamente el 9,0 a aproximadamente el 14,0 % en peso de MgO, de aproximadamente el 1,0 a aproximadamente el 5,0 % en peso de CaO, del 0,0 a aproximadamente el 1,0 % en peso de Na<sub>2</sub>O, del 0 a aproximadamente menos del ,0 % en peso de K<sub>2</sub>O, del 0 a aproximadamente el 2,5 % en peso de TiO<sub>2</sub>, del 0 a aproximadamente el 0,8 % en peso de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, y de aproximadamente el 0,0 a aproximadamente el 4,0 % en peso de Li<sub>2</sub>O. La composición de vidrio puede incluir además del 0 a aproximadamente el 10,0 % en peso de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, del 0 a aproximadamente el 10,0 % en peso de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, del 0 a aproximadamente el 5,0 % en peso de Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y del 0 a aproximadamente el 5,0 % en peso de Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. La composición de vidrio puede incluir además del 0 a aproximadamente el 7,0 % en peso de Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, del 0 a aproximadamente el 7,0 % en peso de Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, del 0 a aproximadamente el 2,5 % en peso de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y del 0 a aproximadamente el 2,0 % en peso de V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

60 En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio puede incluir de aproximadamente el 52,0 a aproximadamente el 60,0 % en peso de SiO<sub>2</sub>, de aproximadamente el 18,4 a aproximadamente el 21,5 % en peso de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de aproximadamente el 9,3 a aproximadamente el 12,0 % en peso de MgO, de aproximadamente el 1,5 a aproximadamente el 8,0 % en peso de CaO, de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 0,5 % en peso de Na<sub>2</sub>O, de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 0,5 % en peso de K<sub>2</sub>O, de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 2,0 % en peso de

5 TiO<sub>2</sub>, de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 0,6 % en peso de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, y de aproximadamente el 0,1 a aproximadamente el 3,5 % en peso de Li<sub>2</sub>O. La composición de vidrio puede incluir además de aproximadamente el 1,0 a aproximadamente el 7,0 % en peso de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de aproximadamente el 1,0 a aproximadamente el 7,0 % en peso de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 4,0 % en peso de Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 4,0 % en peso de Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. La composición de vidrio puede incluir además de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 5,5 % en peso de Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, de aproximadamente el 0,1 a aproximadamente el 5,5 % en peso de Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 2,0 % en peso de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

10 La composición de vidrio incluye al menos el 50 % en peso y no más del 75 % en peso de SiO<sub>2</sub>. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye al menos el 52 % en peso de SiO<sub>2</sub>, incluyendo al menos el 55 % en peso, al menos el 57 % en peso, al menos el 58,5 % en peso y al menos el 59 % en peso. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye no más del 70 % en peso de SiO<sub>2</sub>, incluyendo no más del 68 % en peso, no más del 65,5 % en peso, no más del 64,5 % en peso, no más del 62,5 % en peso y no más del 60,5 % en peso. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 50 % en peso a aproximadamente el 65 % en peso, o de aproximadamente el 52 % en peso a aproximadamente el 60 % en peso de SiO<sub>2</sub>.

15 Para lograr las propiedades mecánicas y de fibrización deseadas, un aspecto importante de la composición de vidrio es tener una concentración de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de al menos el 15,0 % en peso y no más del 25 % en peso. Incluir más del 25 % en peso de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hace que el liquidus de vidrio aumente hasta un nivel por encima de la temperatura de fibrización, lo que da como resultado un ΔT negativo. Incluir menos del 15 % en peso de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> forma una fibra de vidrio con un módulo desfavorablemente bajo. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye al menos el 18,0 % en peso de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, incluyendo al menos el 18,4 % en peso, al menos el 19,0 % en peso, al menos el 19,5 % en peso y al menos el 20,0 % en peso. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 18,4 a aproximadamente el 23 % en peso de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, incluyendo de aproximadamente el 18,8 a aproximadamente el 21,5 % en peso de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

20 La composición de vidrio incluye de manera adicionalmente ventajosa al menos el 8,0 % en peso y no más del 15 % en peso de MgO. Incluir más del 15 % en peso de MgO provocará un aumento de la temperatura de liquidus, lo que también aumentará la tendencia a la cristalización del vidrio. Incluir menos del 8,0 % en peso forma una fibra de vidrio con un módulo desfavorablemente bajo si se sustituye por CaO y un aumento desfavorable de la viscosidad si se sustituye por SiO<sub>2</sub>. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye al menos el 9,0 % en peso de MgO, incluyendo al menos el 9,2 % en peso, al menos el 9,3 % en peso, al menos el 9,8 % en peso, al menos el 10 % en peso, al menos el 10,5 % en peso, al menos el 11,0 % en peso, al menos el 11,5 % en peso, al menos el 12,0 % en peso y al menos el 13 % en peso de MgO. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio comprende una concentración de MgO de entre aproximadamente el 9,0 y aproximadamente el 14 % en peso, o entre aproximadamente el 9,3 y aproximadamente el 12 % en peso.

25 La composición de vidrio puede incluir opcionalmente CaO en concentraciones de hasta aproximadamente el 10,0 % en peso. Incluir más del 10 % en peso de CaO forma un vidrio con un módulo de elasticidad bajo. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye entre el 0 y el 9 % en peso de CaO, incluyendo entre el 0,5 y el 8,8 % en peso, entre el 1,0 y el 8,5 % en peso, entre el 1,5 y el 8,0 % en peso y entre el 2,0 y el 7,5 % en peso. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye entre el 1,0 y el 5,0 % en peso de CaO, o entre el 1,2 y el 4,7 % en peso de CaO, o entre el 1,3 y el 4,55 % en peso de CaO.

30 En algunos ejemplos, la concentración total de MgO y CaO es de al menos el 10 % en peso y no más del 22 % en peso, incluyendo entre el 12,5 % en peso y el 20 % en peso, y entre el 14 % en peso y el 18,5 % en peso.

35 La composición de vidrio puede incluir hasta aproximadamente el 3,0 % en peso de TiO<sub>2</sub>. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 0 % en peso a aproximadamente el 2,5 % en peso de TiO<sub>2</sub>, incluyendo de aproximadamente el 0,01 % en peso a aproximadamente el 2,0 % en peso y de aproximadamente el 0,1 a aproximadamente el 0,75 % en peso.

40 La composición de vidrio puede incluir hasta aproximadamente el 1,0 % en peso de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye del 0 % en peso a aproximadamente el 0,8 % en peso de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, incluyendo de aproximadamente el 0,01 % en peso a aproximadamente el 0,6 % en peso y de aproximadamente el 0,1 a aproximadamente el 0,35 % en peso.

45 La composición de vidrio puede incluir hasta aproximadamente el 5,0 % en peso de Li<sub>2</sub>O. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 0,0 % en peso a aproximadamente el 4,0 % en peso de Li<sub>2</sub>O, incluyendo de aproximadamente el 0,1 % en peso a aproximadamente el 3,5 % en peso y de aproximadamente el 0,5 a aproximadamente el 3,0 % en peso. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 1,0 a aproximadamente el 4,0 % en peso de Li<sub>2</sub>O, o de aproximadamente el 1,5 a aproximadamente el 3,8 % en peso de Li<sub>2</sub>O.

50 En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye menos del 2,0 % en peso de los óxidos de metales alcalinos Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O, incluyendo entre el 0 y el 1,5 % en peso, entre el 0,05 y el 0,75 % en peso

y entre el 0,1 y el 0,25 % en peso. La composición de vidrio puede incluir tanto  $\text{Na}_2\text{O}$  como  $\text{K}_2\text{O}$  en una cantidad superior al 0,01 % en peso de cada óxido. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 1 % en peso de  $\text{Na}_2\text{O}$ , incluyendo de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 0,5 % en peso, de aproximadamente el 0,03 a aproximadamente el 0,3 % en peso y del 0,04 a aproximadamente el 0,15 % en peso. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 1 % en peso de  $\text{K}_2\text{O}$ , incluyendo de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 0,5 % en peso, de aproximadamente el 0,03 a aproximadamente el 0,3 % en peso y del 0,04 a aproximadamente el 0,15 % en peso. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye menos del 1,0 % en peso de  $\text{K}_2\text{O}$ , tal como menos del 0,75 % en peso o menos del 0,50 % en peso.

La composición de vidrio puede incluir hasta aproximadamente el 1,5 % en peso de  $\text{ZrO}_2$ . En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 0,01 % en peso a aproximadamente el 1,0 % en peso de  $\text{ZrO}_2$ , incluyendo de aproximadamente el 0,05 % en peso a aproximadamente el 0,8 % en peso y de aproximadamente el 0,1 a aproximadamente el 0,5 % en peso.

En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye hasta el 15,0 % en peso de los óxidos de tierras raras  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  y  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  (" $\text{R}_2\text{O}_3$ "), incluyendo entre el 0 y el 12,0 % en peso, o entre el 1,0 y el 10,0 % en peso. La composición de vidrio puede incluir cualquiera de los óxidos de  $\text{R}_2\text{O}_3$  en una cantidad superior al 0,01 % en peso. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 10 % en peso de  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , incluyendo de aproximadamente el 1,0 a aproximadamente el 9,9 % en peso, de aproximadamente el 3,0 a aproximadamente el 9,5 % en peso y del 6,0 a aproximadamente el 9,0 % en peso. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 10 % en peso de  $\text{La}_2\text{O}_3$ , incluyendo de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 7,5 % en peso, de aproximadamente el 0,05 a aproximadamente el 4,0 % en peso y del 0,1 a aproximadamente el 3,0 % en peso. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 5,0 % en peso de  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ , incluyendo de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 4,0 % en peso, de aproximadamente el 0,05 a aproximadamente el 2,0 % en peso y del 0,1 a aproximadamente el 1,5 % en peso. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 0 a aproximadamente el 5 % en peso de  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ , incluyendo de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 4,0 % en peso, de aproximadamente el 0,05 a aproximadamente el 3,2 % en peso y del 0,1 a aproximadamente el 3,0 % en peso.

En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye una concentración total de  $\text{CeO}_2+\text{Sc}_2\text{O}_3$  que es de al menos el 1,0 % en peso, incluyendo al menos el 1,5 % en peso, al menos el 1,75 % en peso, al menos el 2,0 % en peso, al menos el 2,1 % en peso, al menos el 2,2 % en peso y al menos el 2,5 % en peso.

La composición de vidrio puede incluir hasta aproximadamente el 7,0 % en peso de  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ . En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 0,01 % en peso a aproximadamente el 5,5 % en peso de  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , incluyendo de aproximadamente el 0,05 % en peso a aproximadamente el 3,5 % en peso y de aproximadamente el 0,1 a aproximadamente el 3,0 % en peso.

La composición de vidrio puede incluir hasta aproximadamente el 7,0 % en peso de  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ . En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 0,01 % en peso a aproximadamente el 5,5 % en peso de  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ , incluyendo de aproximadamente el 0,05 % en peso a aproximadamente el 5,0 % en peso y de aproximadamente el 0,1 a aproximadamente el 4,5 % en peso.

La composición de vidrio puede incluir hasta aproximadamente el 2,5 % en peso de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ . En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 0,01 % en peso a aproximadamente el 2,0 % en peso de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , incluyendo de aproximadamente el 0,05 % en peso a aproximadamente el 1,5 % en peso y de aproximadamente el 0,1 a aproximadamente el 0,7 % en peso.

La composición de vidrio puede incluir hasta aproximadamente el 2,0 % en peso de  $\text{V}_2\text{O}_5$ . En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye de aproximadamente el 0,01 % en peso a aproximadamente el 1,5 % en peso de  $\text{V}_2\text{O}_5$ , incluyendo de aproximadamente el 0,05 % en peso a aproximadamente el 1,2 % en peso y de aproximadamente el 0,1 a aproximadamente el 1,0 % en peso.

Las composiciones de vidrio pueden incluir hasta aproximadamente el 1,0 % en peso de  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  y/o  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ . Sin embargo, diversas realizaciones a modo de ejemplo limitan la concentración total de  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  y  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  a menos del 0,5 % en peso, incluyendo menos del 0,1 % en peso y menos del 0,05 % en peso.

La composición de vidrio puede incluir hasta aproximadamente el 5,0 % en peso de  $\text{ZnO}$ . En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio incluye del 0 % en peso a aproximadamente el 2,5 % en peso de  $\text{ZnO}$ , incluyendo de aproximadamente el 0,01 % en peso a aproximadamente el 2,0 % en peso y de aproximadamente el 0,1 a aproximadamente el 1,0 % en peso.

Las composiciones de vidrio de la invención pueden estar libres o sustancialmente libres de  $\text{B}_2\text{O}_3$  y flúor, aunque se puede añadir cualquiera en pequeñas cantidades para ajustar las propiedades de fibrización y del vidrio acabado

y no afectará adversamente a las propiedades si se mantienen por debajo de varios porcentajes. Tal como se usa en la presente memoria, sustancialmente libre de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y flúor significa que la suma de las cantidades de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y flúor presentes es inferior al 1,0 % en peso de la composición. La suma de las cantidades de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y flúor presentes puede ser inferior a aproximadamente el 0,5 % en peso de la composición, incluyendo menos de aproximadamente el 0,2 % en peso, menos de aproximadamente el 0,1 % en peso y menos de aproximadamente el 0,05 % en peso.

Las composiciones de vidrio pueden incluir además impurezas y/o materiales traza sin afectar adversamente a los vidrios o las fibras. Estas impurezas pueden entrar en el vidrio como impurezas de materia prima o pueden ser productos formados por la reacción química del vidrio fundido con componentes del horno. Los ejemplos no limitativos de materiales traza incluyen estroncio, bario y combinaciones de los mismos. Los materiales traza pueden estar presentes en sus formas de óxido y pueden incluir además flúor y/o cloro. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, las composiciones de vidrio de la invención contienen no más del 1,0 % en peso, incluyendo menos del 0,5 % en peso, menos del 0,2 % en peso y menos del 0,1 % en peso de cada uno de BaO, SrO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y SO<sub>3</sub>. En particular, la composición de vidrio puede incluir menos de aproximadamente el 5,0 % en peso de BaO, SrO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y/o SO<sub>3</sub> combinados, en donde cada uno de BaO, SrO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y SO<sub>3</sub>, si está presente, está presente en una cantidad inferior al 1,0 % en peso.

En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la composición de vidrio comprende una razón de MgO/(CaO+SrO) que es de al menos 1,5, incluyendo al menos 1,7, al menos 2,0, al menos 2,1, al menos 2,2 y al menos 2,3.

Tal como se usan en la presente memoria, los términos “porcentaje en peso”, “% en peso”, “% en p” y “por ciento en peso” se pueden usar indistintamente y se pretende que indiquen el porcentaje en peso (o por ciento en peso) basándose en la composición total.

Como se indicó anteriormente, las composiciones de vidrio de la invención demuestran inesperadamente un módulo de elasticidad optimizado, al tiempo que mantienen propiedades de formación deseables.

La resistencia a la tracción de la fibra también se denomina en la presente memoria simplemente “resistencia”. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, la resistencia a la tracción se mide en fibras vírgenes (es decir, fibras producidas en laboratorio sin dimensionar y sin tocar) usando un aparato de ensayo de tracción Instron según la norma ASTM D2343-09. Las fibras de vidrio a modo de ejemplo formadas a partir de la composición de vidrio de la invención descrita anteriormente pueden tener una resistencia a la tracción de fibra de al menos 4.000 MPa, incluyendo al menos 4.250 MPa, al menos 4.400 MPa, al menos 4.500 MPa, al menos 4.800 MPa, al menos 4.900 MPa, al menos 4.950 MPa, al menos 5.000 MPa, al menos 5.100 MPa, al menos 5.150 MPa y al menos 5.200 MPa. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, las fibras de vidrio formadas a partir de la composición descrita anteriormente tienen una resistencia a la tracción de fibra de aproximadamente 4200 a aproximadamente 5500 MPa, incluyendo de aproximadamente 4300 MPa a aproximadamente 5.350 MPa, de aproximadamente 4.600 a aproximadamente 5.315 MPa. Ventajosamente, la combinación de los parámetros de composición descritos en la presente memoria hace posible producir fibras de vidrio que tienen resistencias a la tracción de al menos 4.800 MPa, incluyendo al menos 4.900 MPa, y al menos 5.000, lo que aún no se ha conseguido en la técnica anterior con una composición de vidrio que tenga propiedades de fibrización deseables.

El módulo de elasticidad de una fibra de vidrio puede determinarse tomando las mediciones promedio de cinco fibras de vidrio individuales medidas según el procedimiento de medición sónica descrito en el informe “Glass Fiber Drawing and Measuring Facilities at the U.S. Naval Ordnance Laboratory”, número de informe NOLTR 65-87, 23 de junio de 1965.

Las fibras de vidrio a modo de ejemplo formadas a partir de la composición de vidrio de la invención pueden tener un módulo de elasticidad de al menos aproximadamente 88 GPa, incluyendo al menos aproximadamente 89,5 GPa, al menos aproximadamente 90,5 GPa, al menos aproximadamente 91 GPa, al menos aproximadamente 93 GPa, al menos aproximadamente 95 GPa o al menos aproximadamente 96 GPa. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, las fibras de vidrio a modo de ejemplo formadas a partir de la composición de vidrio de la invención tienen un módulo de elasticidad de entre aproximadamente 88 GPa y aproximadamente 115 GPa, incluyendo entre aproximadamente 89 GPa y aproximadamente 100 GPa, y entre aproximadamente 93,1 GPa y aproximadamente 98 GPa.

El módulo de elasticidad puede usarse entonces para determinar el módulo específico. Es deseable tener un módulo específico lo más alto posible para lograr un material compuesto ligero que añada rigidez al artículo final. El módulo específico es importante en aplicaciones en las que la rigidez del producto es un parámetro importante, como en las aplicaciones aeroespaciales y de energía eólica. Como se usa en la presente memoria, el módulo específico se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Módulo específico (MJ/kg)} = \text{Módulo (GPa)} / \text{densidad (kg/metro cúbico)}$$

Las fibras de vidrio a modo de ejemplo formadas a partir de la composición de vidrio de la invención tienen un módulo específico de aproximadamente 33,0 MJ/kg a aproximadamente 40,0 MJ/kg, incluyendo de aproximadamente 34,1 MJ/kg a aproximadamente 37 MJ/kg, y de aproximadamente 34,5 MJ/kg a aproximadamente 36,5 MJ/kg.

La densidad se puede medir mediante cualquier método conocido y habitualmente aceptado en la técnica, tal como el método de Arquímedes (ASTM C693-93 (2008)) en vidrio a granel no recocido. Las fibras de vidrio tienen una densidad de desde aproximadamente 2,0 hasta aproximadamente 3,0 g/cc. En otras realizaciones a modo de ejemplo, las fibras de vidrio tienen una densidad de desde aproximadamente 2,3 hasta aproximadamente 2,8 g/cc, incluyendo desde aproximadamente 2,4 hasta aproximadamente 2,78 g/cc, y de aproximadamente 2,50 a aproximadamente 2,75 g/cc.

Según algunas realizaciones a modo de ejemplo, se proporciona un método para preparar fibras de vidrio a partir de la composición de vidrio descrita anteriormente. Las fibras de vidrio pueden formarse mediante cualquier medio conocido y usado tradicionalmente en la técnica. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, las fibras de vidrio se forman obteniendo componentes de partida y mezclando los componentes en las cantidades apropiadas para obtener los porcentajes en peso deseados de la composición final. El método puede incluir además proporcionar la composición de vidrio de la invención en forma fundida y estirar la composición fundida a través de orificios de un casquillo para formar una fibra de vidrio.

Los componentes de la composición de vidrio pueden obtenerse a partir de componentes o materias primas adecuados incluyendo, pero sin limitarse a, arena o pirofilita para  $\text{SiO}_2$ , piedra caliza, cal quemada, wollastonita o dolomita para  $\text{CaO}$ , caolín, alúmina o pirofilita para  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dolomita, cal viva dolomítica, brucita, enstatita, talco, magnesita quemada o magnesita para  $\text{MgO}$ , y carbonato de sodio, feldespato de sodio o sulfato de sodio para  $\text{Na}_2\text{O}$ . En algunas realizaciones a modo de ejemplo, se puede usar vidrio reciclado para suministrar uno o más de los óxidos necesarios.

El lote mezclado se puede fundir entonces en un horno o fundidor y el vidrio fundido resultante se hace pasar a lo largo de un antecrisol y se extrae a través de los orificios de un casquillo ubicado en la parte inferior del antecrisol para formar filamentos de vidrio individuales. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, el horno o fundidor es un fundidor refractario tradicional. Al utilizar un tanque refractario formado por bloques refractarios, se pueden reducir los costes de fabricación asociados con la producción de fibras de vidrio producidas por la composición de la invención. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, el casquillo es un casquillo a base de aleación de platino. A continuación, se pueden formar hebras de fibras de vidrio agrupando filamentos individuales entre sí. Las hebras de fibra pueden enrollarse y procesarse adicionalmente de una manera convencional adecuada para la aplicación prevista.

Las temperaturas de funcionamiento del vidrio en el fundidor, el antecrisol y el casquillo se pueden seleccionar para ajustar adecuadamente la viscosidad del vidrio, y se pueden mantener usando métodos adecuados, tales como dispositivos de control. La temperatura en el extremo frontal del fundidor puede controlarse automáticamente para reducir o eliminar la desvitrificación. A continuación, puede tirarse del vidrio fundido (estirarse) a través de agujeros u orificios en la placa inferior o de punta del casquillo para formar fibras de vidrio. Según algunas realizaciones a modo de ejemplo, las corrientes de vidrio fundido que fluyen a través de los orificios del casquillo se atenúan hasta convertirse en filamentos enrollando una hebra formada por una pluralidad de filamentos individuales en un tubo de formación montado en una pinza giratoria de una máquina bobinadora o se cortan a una velocidad adaptativa. Las fibras de vidrio de la invención se pueden obtener mediante cualquiera de los métodos descritos en la presente memoria, o cualquier método conocido para formar fibras de vidrio.

Las fibras pueden procesarse adicionalmente de una manera convencional adecuada para la aplicación prevista. Por ejemplo, en algunas realizaciones a modo de ejemplo, las fibras de vidrio se someten a encolado con una composición de encolado conocida por los expertos en la materia. La composición de encolado no está restringida de ninguna manera, y puede ser cualquier composición de encolado adecuada para su aplicación a fibras de vidrio. Las fibras dimensionadas se pueden usar para reforzar sustratos, como una variedad de plásticos, donde el uso final del producto requiere una alta resistencia y rigidez y un bajo peso. Dichas aplicaciones incluyen, pero no se limitan a, materiales textiles tejidos para su uso en la formación de palas de turbinas eólicas; infraestructura, como hormigón armado, puentes, etc.; y estructuras aeroespaciales.

Con respecto a esto, algunas realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención incluyen un material compuesto que incorpora las fibras de vidrio de la invención, como se describió anteriormente, en combinación con un material de matriz endurecible. Esto también se puede denominar en la presente memoria un producto compuesto reforzado. El material de matriz puede ser cualquier resina termoplástica o termoestable adecuada conocida por los expertos en la técnica, tal como, pero sin limitarse a, materiales termoplásticos tales como poliésteres, polipropileno, poliamida, poli(tereftalato de etileno) y polibutileno, y resinas termoestables tales como resinas epoxídicas, poliésteres insaturados, compuestos fenólicos, ésteres vinílicos y elastómeros. Estas resinas se pueden usar solas o en combinación. El producto compuesto reforzado se puede usar para palas de turbinas eólicas, barras de refuerzo, tuberías, bobinado de filamentos, llenado de silenciadores, absorción de sonido y similares.

Según otras realizaciones a modo de ejemplo, la invención proporciona un método para preparar un producto compuesto como el descrito anteriormente. El método puede incluir combinar al menos un material de matriz polimérica con una pluralidad de fibras de vidrio. Tanto el material de matriz polimérica como las fibras de vidrio pueden ser como se describieron anteriormente.

**Ejemplos**

Se prepararon composiciones de vidrio a modo de ejemplo según la presente invención mezclando los componentes del lote en cantidades proporcionales para lograr una composición de vidrio final con los porcentajes en peso de óxido que se indican en las tablas 1-9, a continuación.

5 Las materias primas se fundieron en un crisol de platino en un horno calentado eléctricamente a una temperatura de 1650 °C durante 3 horas.

10 La temperatura de fibrización se midió utilizando un método de cilindro giratorio tal como se describe en la norma ASTM C965-96 (2007), titulada “Standard Practice for Measuring Viscosity of Glass Above the Softening Point”. La temperatura de liquidus se midió exponiendo el vidrio a un gradiente de temperatura en un recipiente de aleación de platino durante 16 horas, tal como se define en la norma ASTM C829-81 (2005), titulada “Standard Practices for Measurement of Liquidus Temperature of Glass”. La densidad se midió mediante el método de Arquímedes, como se detalla en la norma ASTM C693-93 (2008), titulada “Standard Test Method for Density of Glass Buoyancy”.

15 El módulo específico se calculó dividiendo el módulo medido en unidades de GPa entre la densidad en unidades de kg/m<sup>3</sup>.

20 La resistencia se midió en fibras vírgenes usando un aparato de ensayo de tracción Instron según la norma ASTM D2343-09 titulado “Standard Test Method for Tensile Properties of Glass Fiber Strands, Yarns, and Rovings Used in Reinforced Plastics”.

Los ejemplos de las tablas 1-10 marcados con \* indican ejemplos que no están incluidos en la redacción de las reivindicaciones, pero que se consideran útiles para entender la invención.

Tabla 1

Componente	Ejemplo 1 (% en peso)	Ejemplo 2* (% en peso)	Ejemplo 3 (% en peso)	Ejemplo 4 (% en peso)	Ejemplo 5* (% en peso)
SiO <sub>2</sub>	50,89	52,85	58	55,5	53,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,92	20,0	20,00	21,00	18,42
MgO	12,46	10,09	12,00	11,00	10,28
CaO	4,47	8,14	2,00	3,50	8,29
Li <sub>2</sub> O	2,20	2,00	2,00	2,00	2,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,31	0,00	0,00	0,32
K <sub>2</sub> O	0,01	0,12	0,00	0,00	0,12
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,11	0,00	0,00	0,12
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,63	0,00	0,00	0,64
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,49	3,00	0,00	4,00	3,00
ZrO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,50	3,00	3,00	3,00	3,00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	3,00	3,00	0,00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
<b>Propiedad</b>					
Temperatura de fibrización °C (°F entre paréntesis)	1201 (2193)	1199 (2191)	1274 (2326)	1247 (2277)	1196 (2185)
Temperatura de liquidus °C (°F entre paréntesis)	1214 (2217)	1188 (2171)	1231 (2248)	1256 (2293)	1173 (2144)
ΔT °C (°F entre paréntesis)	-13 (-24)	11 (20)	43 (79)	-9 (-16)	23 (42)
Densidad (g/cc)	2,744	2,733	2,656	2,690	2,732
Módulo de elasticidad (GPa)	98,0	94,4	94,3	94,1	94,1
Módulo específico (MJ/kg)	35,7	34,5	35,5	35,0	34,4
Resistencia (MPa)	----	----	4919	----	----

Tabla 2

Componente	Ejemplo 6 (% en peso)	Ejemplo 7* (% en peso)	Ejemplo 8* (% en peso)	Ejemplo 9* (% en peso)	Ejemplo 10 (% en peso)
SiO <sub>2</sub>	58,00	59,95	58,08	58,00	60,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,00	19,45	18,84	19	20,5
MgO	12,00	9,62	9,32	10,50	12,00
CaO	2,0	5,13	4,97	2,00	1,50
Li <sub>2</sub> O	2,00	1,85	1,79	1,50	2,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,00	0,00	7,00	3,00	3,00
ZrO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,0	2,00	0,00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,00	0,00	0,00	3,00	0,00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Propiedad</b>					
Temperatura de fibrización °C (°F entre paréntesis)	1271 (2319)	1288 (2350)	1281 (2338)	1298 (2369)	1291 (2355)
Temperatura de liquidus °C (°F entre paréntesis)	1236 (2256)	1318 (2405)	1166 (2130)	1264 (2307)	1266 (2310)
ΔT °C (°F entre paréntesis)	35 (63)	-30 (-55)	115 (208)	34 (63)	25 (45)
Densidad (g/cc)	2,651	2,602	2,673	2,692	2,600
Módulo de elasticidad (GPa)	93,7	93,5	93,5	93,4	93,1
Módulo específico (MJ/kg)	35,3	35,9	35,0	34,7	35,8
Resistencia (MPa)	4929	4818	4830	----	4984

Tabla 3

Componente	Ejemplo 11 (% en peso)	Ejemplo 12 (% en peso)	Ejemplo 13* (% en peso)	Ejemplo 14* (% en peso)	Ejemplo 15* (% en peso)
SiO <sub>2</sub>	58,00	60,50	59,00	55,60	60,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,0	20,5	22	19,02	22,00
MgO	11,00	12,0	12,0	10,61	14,00
CaO	3,00	1,50	3,00	8,562	0,00
Li <sub>2</sub> O	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	2,00	0,66	0,00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,00	3,50	0,00	0,00	0,00

ES 2 980 180 T3

Componente	Ejemplo 11 (% en peso)	Ejemplo 12 (% en peso)	Ejemplo 13* (% en peso)	Ejemplo 14* (% en peso)	Ejemplo 15* (% en peso)
ZrO <sub>2</sub>	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,00	0,00	0,0	3,00	0,00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Propiedad</b>					
Temperatura de fibrización °C (°F entre paréntesis)	1273 (2323)	1297 (2367)	1272 (2321)	1209 (2208)	1237 (2258)
Temperatura de liquidus °C (°F entre paréntesis)	1217 (2222)	1264 (2308)	1269 (2316)	1178 (2152)	1239 (2262)
ΔT °C (°F entre paréntesis)	56 (101)	33 (59)	3 (6)	31 (57)	-2 (-4)
Densidad (g/cc)	2,649	2,593	2,571	2,677	2,540
Módulo de elasticidad (GPa)	93,0	92,8	92,8	92,5	92,4
Módulo específico (MJ/kg)	35,1	35,8	36,1	34,6	36,4
Resistencia (MPa)	---	5058	5035	----	4936

Tabla 4

Componente	Ejemplo 16* (% en peso)	Ejemplo 17* (% en peso)	Ejemplo 18* (% en peso)	Ejemplo 19* (% en peso)	Ejemplo 20* (% en peso)
SiO <sub>2</sub>	57,33	60,00	61,20	63,50	60,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,61	20,00	19,85	20,50	19,55
MgO	10,94	12,00	9,82	12	19,67
CaO	8,83	2,00	5,23	2,00	5,15
Li <sub>2</sub> O	2,00	2,00	1,89	2,00	1,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,5
ZrO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Propiedad</b>					
Temperatura de fibrización °C (°F entre paréntesis)	1224 (2236)	1299 (2371)	1305 (2381)	1352 (2465)	1303 (2378)

ES 2 980 180 T3

Componente	Ejemplo 16* (% en peso)	Ejemplo 17* (% en peso)	Ejemplo 18* (% en peso)	Ejemplo 19* (% en peso)	Ejemplo 20* (% en peso)
Temperatura de liquidus °C (°F entre paréntesis)	1199 (2190)	1272 (2321)	1224 (2235)	1277 (2330)	1199 (2191)
ΔT °C (°F entre paréntesis)	25 (47)	27 (50)	81 (146)	75 (126)	104 (188)
Densidad (g/cc)	2,620	2,596	2,577	2,546	2,607
Módulo de elasticidad (GPa)	92,4	92,3	92,2	92,0	92,0
Módulo específico (MJ/kg)	35,3	35,5	35,8	36,1	35,3
Resistencia (MPa)	---	---	5056	5187	4927

Tabla 5

Componente	Ejemplo 21* (% en peso)	Ejemplo 22* (% en peso)	Ejemplo 23* (% en peso)	Ejemplo 24 (% en peso)	Ejemplo 25 (% en peso)
SiO <sub>2</sub>	59,50	62,00	58,00	60,00	60,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,00	21,00	19,50	20,50	20,50
MgO	11,00	12,00	11,00	12,00	12,00
CaO	2,00	3,00	2,00	1,50	1,50
Li <sub>2</sub> O	1,50	2,00	1,50	2,00	2,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZrO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,0	3,00	3,50
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6,00	0,00	4,00	0,0	0,00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Propiedad</b>					
Temperatura de fibrización °C (°F entre paréntesis)	1332 (2429)	1327 (2420)	1312 (2393)	1293 (2360)	1297 (2367)
Temperatura de liquidus °C (°F entre paréntesis)	1297 (2367)	1266 (2310)	1293 (2360)	1254 (2289)	1266 (2310)
ΔT °C (°F entre paréntesis)	35 (62)	61 (111)	19 (33)	39 (71)	31 (57)
Densidad (g/cc)	2,631	2,545	2,655	2,597	2,597
Módulo de elasticidad (GPa)	91,9	91,9	91,9	91,8	91,7
Módulo específico (MJ/kg)	34,9	36,1	34,6	35,4	35,3
Resistencia (MPa)	---	5234	----	4953	4959

ES 2 980 180 T3

Tabla 6

Componente	Ejemplo 26 (% en peso)	Ejemplo 27* (% en peso)	Ejemplo 28* (% en peso)	Ejemplo 29* (% en peso)	Ejemplo 30* (% en peso)
SiO <sub>2</sub>	59,30	61,00	63,00	62,50	62,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,00	20,50	21,00	20,50	20,30
MgO	10,00	12,00	12,00	12,00	12,00
CaO	4,00	2,50	2,00	3,00	3,30
Li <sub>2</sub> O	1,70	2,00	2,00	2,00	2,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZrO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5,00	2,00	0,00	0,00	0,00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Propiedad</b>					
Temperatura de fibrización °C (°F entre paréntesis)	1314 (2398)	1304 (2380)	1348 (2459)	1314 (2398)	1309 (2388)
Temperatura de liquidus °C (°F entre paréntesis)	1254 (2289)	1253 (2287)	1283 (2341)	1249 (2281)	1242 (2268)
ΔT °C (°F entre paréntesis)	60 (109)	51 (94)	65 (119)	65 (117)	67 (121)
Densidad (g/cc)	2,629	2,571	2,529	2,543	2,540
Módulo de elasticidad (GPa)	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6
Módulo específico (MJ/kg)	34,8	35,6	36,2	36,0	36,0
Resistencia (MPa)	4934	---	5224	5197	5026

Tabla 7

Componente	Ejemplo 31* (% en peso)	Ejemplo 32* (% en peso)	Ejemplo 33 (% en peso)	Ejemplo 34* (% en peso)	Ejemplo 35* (% en peso)
SiO <sub>2</sub>	61,00	58,08	58,30	64,50	64,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,00	18,84	20,00	20,50	21,00
MgO	11,50	9,32	11,00	12,00	12,00
CaO	2,00	4,97	4,00	1,00	1,00
Li <sub>2</sub> O	1,50	1,79	2,00	2,00	2,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00
ZrO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

ES 2 980 180 T3

Componente	Ejemplo 31* (% en peso)	Ejemplo 32* (% en peso)	Ejemplo 33 (% en peso)	Ejemplo 34* (% en peso)	Ejemplo 35* (% en peso)
ZnO	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	7,00	0,0	0,00	0,00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4,00	0,00	0,00	0,0	0,00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Propiedad</b>					
Temperatura de fibrización °C (°F entre paréntesis)	1304 (2380)	1289 (2352)	1263 (2306)	1377 (2510)	1361 (2481)
Temperatura de liquidus °C (°F entre paréntesis)	1301 (2374)	1186 (2167)	1187 (2169)	1308 (2387)	1308 (2387)
ΔT °C (°F entre paréntesis)	3 (7)	103 (186)	76 (138)	69 (123)	53 (115)
Densidad (g/cc)	2,593	2,683	2,628	2,522	2,517
Módulo de elasticidad (GPa)	91,5	91,5	91,5	91,4	91,4
Módulo específico (MJ/kg)	35,3	34,1	34,8	36,3	36,3
Resistencia (MPa)	---	4850	---	5315	5132

Tabla 8

Componente	Ejemplo 36* (% en peso)	Ejemplo 37* (% en peso)	Ejemplo 38* (% en peso)	Ejemplo 39* (% en peso)	Ejemplo 40* (% en peso)
SiO <sub>2</sub>	61,00	61,00	60,26	61,00	59,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,50	20,50	19,55	20,00	20,00
MgO	12,00	12,00	9,67	11,50	10,00
CaO	2,50	2,50	5,15	2,00	3,00
Li <sub>2</sub> O	2,00	2,00	1,86	1,50	1,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZrO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	3,50	0,00	0,00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	2,00	0,00	4,00	3,00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,0	3,00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Propiedad</b>					
Temperatura de fibrización °C (°F entre paréntesis)	1291 (2356)	1302 (2375)	1309 (2388)	1328 (2423)	1322 (2412)
Temperatura de liquidus °C (°F entre paréntesis)	1269 (2317)	1259 (2299)	1196 (2185)	1302 (2376)	1280 (2336)

ES 2 980 180 T3

Componente	Ejemplo 36* (% en peso)	Ejemplo 37* (% en peso)	Ejemplo 38* (% en peso)	Ejemplo 39* (% en peso)	Ejemplo 40* (% en peso)
$\Delta T$ °C (°F entre paréntesis)	22 (40)	43 (77)	113 (203)	26 (48)	42 (76)
Densidad (g/cc)	2,558	2,562	2,612	2,577	2,619
Módulo de elasticidad (GPa)	91,3	91,3	91,1	91,1	91,1
Módulo específico (MJ/kg)	35,7	35,6	34,9	35,3	34,8
Resistencia (MPa)	---	---	4948	---	4875

Tabla 9

Componente	Ejemplo 41* (% en peso)	Ejemplo 42* (% en peso)	Ejemplo 43* (% en peso)	Ejemplo 44* (% en peso)	Ejemplo 45 (% en peso)
SiO <sub>2</sub>	59,50	59,95	61,82	58,60	58,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,00	19,45	20,06	19,30	19,80
MgO	11,00	9,62	9,92	9,50	9,30
CaO	2,00	5,13	5,29	4,30	4,00
Li <sub>2</sub> O	1,50	1,85	1,91	1,80	1,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	6,50	6,50
ZrO <sub>2</sub>	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Propiedad</b>					
Temperatura de fibrización °C (°F entre paréntesis)	2408	2373	2443	2332	2346
Temperatura de liquidus °C (°F entre paréntesis)	2380	2205	2230	2195	2208
$\Delta T$ °C (°F entre paréntesis)	28	168	213	138	138
Densidad (g/cc)	2,605	2,619	2,559	2,655	2,651
Módulo de elasticidad (GPa)	91,0	91,0	91,0	93,1	93,1
Módulo específico (MJ/kg)	35	34,7	35,5	35,1	35,1
Resistencia (MPa)	---	4913	5016	---	---

Tabla 10

Componente	Ejemplo 46 (% en peso)	Ejemplo 47 (% en peso)	Ejemplo 48* (% en peso)	Ejemplo comparativo
SiO <sub>2</sub>	58,60	58,00	59,00	60,70

ES 2 980 180 T3

	Componente	Ejemplo 46 (% en peso)	Ejemplo 47 (% en peso)	Ejemplo 48* (% en peso)	Ejemplo comparativo
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,55	19,53	19,07	15,80
	MgO	9,30	10,74	10,49	8,00
	CaO	4,25	3,91	3,81	13,40
	Li <sub>2</sub> O	1,80	1,95	1,91	0,75
10	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,27
	K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,10
	Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,23
	TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,48
15	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	---
	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,50	3,91	3,81	---
	ZrO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	---
20	ZnO	0,00	0,00	0,00	---
	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	---
	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	1,91	---
25	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	---
	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	---
	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	---
	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	---
30	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	---
	<b>Propiedad</b>				
	Temperatura de fibrización °C (°F entre paréntesis)	1280 (2340)	1267 (2312)	1278 (2332)	1273 (2324)
35	Temperatura de liquidus °C (°F entre paréntesis)	1195 (2183)	1186 (2166)	1196 (2185)	1171 (2140)
	ΔT °C (°F entre paréntesis 2408)	85 (158)	81 (147)	82 (148)	102 (184)
40	Densidad (g/cc)	2,652	2,653	2,641	2,614
	Módulo de elasticidad (GPa)	92,9	92,8	92,4	87,5
	Módulo específico (MJ/kg)	35	35	35	33,5
45	Resistencia (MPa)	---	---	---	4637

Las Tablas 1-10 ilustran la mejora en el módulo de elasticidad que tienen las composiciones de vidrio con respecto al vidrio comercial de alto rendimiento (ejemplo comparativo). El ejemplo comparativo demuestra un módulo de elasticidad de 87,5 GPa, que está por debajo del módulo de elasticidad mínimo observado en cualquiera de las composiciones. De manera instructiva, cada una de las composiciones demuestra un módulo de elasticidad de al menos 88 GPa, y más específicamente de al menos 90 GPa.

## REIVINDICACIONES

1. Una composición de vidrio que comprende:
- 5                   SiO<sub>2</sub> en una cantidad desde el 50,0 hasta el 60,5 % en peso;  
                     Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 19,5 hasta el 23,0 % en peso;  
                     CaO en una cantidad desde el 1,0 hasta el 5,0 % en peso;  
                     MgO en una cantidad desde el 9,0 hasta el 14,0 % en peso;  
 10                  Na<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 0,0 hasta el 1,0 % en peso;  
                     K<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 0,0 hasta menos del 1,0 % en peso;  
                     Li<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 1,0 hasta el 4,0 % en peso;  
                     TiO<sub>2</sub> en una cantidad desde el 0,0 hasta el 2,5 % en peso,  
                     Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 10,0 % en peso;  
 15                  La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 10,0 % en peso;  
                     Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 5,0 % en peso;  
                     Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 5,0 % en peso; y  
                     una concentración total de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 2,0 hasta el 10,0 % en peso, en  
                     donde una fibra de vidrio formada a partir de dicha composición de vidrio tiene un módulo de  
 20                  elasticidad de entre 88 y 115 GPa y una resistencia a la tracción según la norma ASTM D2343-  
                     09 de al menos 4.400 MPa.
2. La composición de vidrio de la reivindicación 1, que incluye además:
- 25                   del 0 a aproximadamente el 7,0 % en peso de Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>;  
                     del 0 a aproximadamente el 7,0 % en peso de Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;  
                     del 0 a aproximadamente el 2,5 % en peso de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, y  
                     del 0 a aproximadamente el 2,0 % en peso de V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.
3. La composición de vidrio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en donde dicha composición  
 30                  incluye del 0,1 al 5,5 % en peso de TazOs.
4. La composición de vidrio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde dicha composición  
                     incluye del 6,0 al 10 % en peso de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- 35                  5. La composición de vidrio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde dicha composición  
                     incluye más del 1,5 al 10 % en peso de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
6. La composición de vidrio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde dicha composición  
                     comprende una razón de MgO/(CaO+SrO) superior a 2,1.
- 40                  7. La composición de vidrio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde dicha composición  
                     está esencialmente libre de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
8. La composición de vidrio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde la composición  
 45                  incluye al menos el 4 % en peso de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
9. La composición de vidrio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde la composición  
                     tiene una temperatura de fibrización inferior a 1.454 °C (2.650 °F).
- 50                  10. Un método de formación de una fibra de vidrio continua que comprende:
- proporcionar una composición fundida según la reivindicación 1; y  
                     estirar dicha composición fundida a través de un orificio para formar una fibra de vidrio continua.
- 55                  11. Un producto compuesto reforzado que comprende:
- una matriz polimérica; y  
                     una pluralidad de fibras de vidrio formadas a partir de una composición de vidrio que comprende:
- 60                   SiO<sub>2</sub> en una cantidad desde el 50,0 hasta el 60,5 % en peso;  
                     Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 19,5 hasta el 23,0 % en peso;  
                     CaO en una cantidad desde el 1,0 hasta el 5,0 % en peso;  
                     MgO en una cantidad desde el 9,0 hasta el 14,0 % en peso;  
 65                  Na<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 0,0 hasta el 1,0 % en peso;  
                     K<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 0,0 hasta menos del 1,0 % en peso;  
                     Li<sub>2</sub>O en una cantidad desde el 1,0 hasta el 4,0 % en peso;

## ES 2 980 180 T3

- 5 TiO<sub>2</sub> en una cantidad desde el 0,0 hasta el 2,5 % en peso,  
Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 10,0 % en peso;  
LaIOs en una cantidad desde el 0 hasta el 10,0 % en peso;  
Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 5,0 % en peso;  
Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 0 hasta el 5,0 % en peso; y  
una concentración total de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en una cantidad desde el 2,0 hasta el 10,0 % en peso, en donde las fibras de vidrio tienen un módulo de elasticidad de entre 88 y 115 GPa y una resistencia a la tracción según la norma ASTM D2343-09 de al menos 4.400 MPa.
- 10 12. Un producto compuesto reforzado según la reivindicación 11, en donde dicho producto compuesto reforzado está en forma de una pala de turbina eólica.