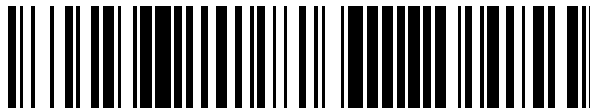


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 909 767**

51 Int. Cl.:

**C03B 5/12** (2006.01)

**C03B 5/235** (2006.01)

**C03B 5/237** (2006.01)

**C03B 5/43** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.01.2016 PCT/EP2016/051737**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2016 WO16120353**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.01.2016 E 16701785 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.03.2022 EP 3250522**

54 Título: **Fundidor de combustión sumergida y método**

30 Prioridad:

**27.01.2015 GB 201501315**

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

**10.05.2022**

73 Titular/es:

**KNAUF INSULATION (25.0%)  
Rue de Maestricht 95  
4600 Visé, BE;  
KNAUF INSULATION DOO SKOFJA LOKA  
(25.0%);  
KNAUF INSULATION GMBH (25.0%) y  
KNAUF INSULATION, INC. (25.0%)**

72 Inventor/es:

**DEMOTT, GERARD;  
DUCARME, DAVID;  
ETZKORN, RANDY y  
MAROLT, BOSTJAN**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 909 767 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

Fundidor de combustión sumergida y método

5 La presente invención se refiere a fundidores de combustión sumergida, en particular para la fundición de material vítreo o vitrificable, y a procesos que utilizan una fundición de combustión sumergida.

10 Los materiales vítreos se fabrican por lo general a partir de una mezcla de materias primas, por ejemplo, silicatos, basalto, caliza, carbonato de sodio y otros constituyentes menores que se introducen en un fundidor y se funden en un estado líquido viscoso a temperaturas del orden de 1250 a 1500 °C; después, la masa fundida se suministra a un proceso de conformación. Dependiendo del uso previsto de masa fundida, por ejemplo, para la fabricación de vidrio plano, vidrio hueco, fibras continuas, tales como fibras con fines de refuerzo o fibras con fines de aislamiento, puede ser necesario una etapa de refinado en estado fundido aguas arriba del proceso de conformación. La composición química de la masa fundida y sus propiedades físicas se seleccionan en función del uso previsto y del proceso de conformación.

15 El material vitrificable al que se hace referencia en el presente documento incluye materias primas para la fundición o fabricación de vidrio, pero también otras materias primas, incluyendo pero sin limitarse a residuos y materiales reciclados, que pueden fundirse y vitrificarse, como piedra, roca, esquisto, cerámica y similares. La presente descripción se refiere principalmente a la fundición de vidrio, como ejemplo, pero obviamente se extiende a la producción de masas fundidas que pueden ser diferentes del vidrio en su sentido estricto.

20 Los fundidores de vidrio convencionales comprenden un suministro de energía desde arriba de una superficie de masa fundida de vidrio, por ejemplo, desde quemadores que generan una llama en un espacio entre la superficie de masa fundida de vidrio y la corona del fundidor, por lo que el calor se transfiere al vidrio fundido por la propia llama y por la radiación desde el material de corona. La materia prima por lote que se va a fundir se carga en la parte superior de la masa fundida de vidrio en el fundidor y el calor se transfiere de la masa fundida al material por lote que se incorpora a la masa fundida.

25 En algunos fundidores de vidrio, la energía es suministrada por electrodos calentados eléctricamente dispuestos debajo de la superficie de la masa fundida; tales electrodos pueden proporcionar la única fuente de calor o usarse en combinación con quemadores.

30 Otro tipo de fundidor de vidrio tiene una o más boquillas del quemador dispuestas debajo de la superficie de la masa fundida, de tal forma que las llamas del quemador y/o los productos de combustión atraviesan la masa fundida. Esta disposición se conoce como combustión sumergida.

35 Dichos fundidores de combustión sumergida generan grandes volúmenes de gases de escape. En vista de los requisitos cada vez mayores con respecto a la contaminación ambiental y/o los procesos de producción sostenibles, se requiere transferir los gases de escape a través de los denominados realización preferida. Una de las funciones principales de un postquemador es garantizar la combustión completa de los elementos combustibles potencialmente restantes y la reducción del contenido de NOx en los gases de escape liberados al medio ambiente. Por lo general, tales realización preferida están montados en el sistema de escape y consisten en una cámara ampliada que permite un mayor tiempo de residencia de volúmenes de gas dados en dicha cámara ampliada en condiciones de temperatura y presión que son adecuadas para la desintoxicación del escape en la medida requerida. Dependiendo de la disposición del sistema de escape, el postquemador puede requerir una entrada de energía adicional, incluyendo calentamiento y/o inyección de combustible, para generar las condiciones de presión y temperatura requeridas para la reacción de los elementos combustibles remanentes y/o la detoxificación de los elementos reactivos remanentes.

40 La presente invención busca ahora proporcionar un fundidor de combustión sumergida mejorado para fundir materiales, en particular materiales vítreos o vitrificables, lo que muestra una mayor eficiencia energética.

45 La presente invención busca además proporcionar un proceso altamente eficiente para sinterizar y/o fundir materiales por lotes. Un proceso de este tipo muestra un consumo de energía reducido junto con excelentes características de fundición, incluyendo la homogeneidad en términos de distribución de temperatura y composición, lo que conduce a una alta calidad del producto final. Permite fundir una gran variedad de materiales, material notablemente vitrificable y muestra una gran flexibilidad en el control de los parámetros del proceso.

50 De acuerdo con uno de sus aspectos, la presente invención proporciona un conjunto de fundidor de combustión sumergida como se define en la reivindicación 1. Otras reivindicaciones independientes definen otros aspectos de la invención. Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones preferidas y/o alternativas.

55 El fundidor y/o el proceso pueden llevarse a cabo usando un método y/o fundidor divulgado en cualquiera de los documentos WO 2015/014917, WO 2015/014918, WO 2015/014919, WO 2015/014920 o WO 2015/014921.

60 El documento EP2578547 A desvela un sistema de fabricación de vidrio de combustión sumergida. Las dimensiones

del fundidor y el número de quemadores de combustión sumergida pueden variar.

Se ha encontrado que la disposición y el diseño de la invención del postquemador son particularmente eficientes y ventajosos. Primero, la sección del postquemador de la invención no requiere ninguna entrada de energía adicional, ya que es capaz de recuperar suficiente energía de los gases que emanan directamente del baño de fundición. Mantener estos gases durante un tiempo suficiente en las condiciones de temperatura y presión relevantes, es decir, garantizar un tiempo de residencia suficiente de dichos gases en la sección del postquemador del propio fundidor, ha demostrado que cumple con los requisitos que debe cumplir un postquemador. Como resultado, la inversión de capital en el sistema de escape puede reducirse significativamente, como un sistema de poscombustión separado montado en el sistema de escape puede reducirse en tamaño y/o simplificarse u omitirse por completo. Además, no se requiere entrada de energía adicional, lo que reduce el consumo total de energía del conjunto de fundidor y, por lo tanto, aumenta su eficiencia energética.

Después, la disposición y el diseño de la sección del postquemador de acuerdo con la invención es simple y muestra otras ventajas con respecto a la construcción real y la elección de los materiales de construcción. Como la sección del postquemador está dispuesta contigua y en continuidad con la sección del fundidor, ventajosamente puede estar hecha del mismo material que la sección del fundidor. De acuerdo con una realización preferente, la sección del fundidor puede comprender paredes dobles de acero que forman una camisa de fluido refrigerante alrededor del baño de fundición; el postquemador puede estar hecho del mismo material. En la práctica, basta con adaptar la altura del conjunto fundidor para generar un espacio sobre el baño de fundición que cumpla con los requisitos de una sección del postquemador, es decir, tiempos de residencia del gas superiores a 1 s, preferiblemente superiores a 2 s, a una temperatura de al menos 750 °C, preferiblemente de 800 °C, más preferiblemente de 850 °C, sobre el nivel de masa fundida. La sección transversal horizontal del postquemador es simplemente equivalente a la de la sección del fundidor de combustión sumergida, puesto que está en continuidad con la misma.

Si es así requerido, el equipo de calentamiento adicional y/o equipo de combustión de combustible y/o inyecciones de reactivos, tales como dispositivos para la inyección de gas que contiene oxígeno, pueden estar dispuestos en las paredes de la sección del postquemador, para permitir un control adecuado de las condiciones del postquemador en condiciones normales de funcionamiento, así como en condiciones extremas y/o de transición.

De forma similar, el equipo de recuperación de calor puede proporcionarse en la sección del postquemador. En la práctica, el equipo de recuperación de calor puede consistir en paredes dobles de acero que formen una camisa de fluido refrigerante alrededor de la sección del postquemador. La temperatura y/o el flujo del fluido refrigerante pueden controlarse ventajosamente para asegurar condiciones adecuadas del postquemador.

La sección del postquemador puede comprender deflectores para evitar que las proyecciones de masa fundida generadas por la alta turbulencia en la sección del fundidor de combustión sumergida escapen a través del sistema de escape.

Se puede disponer un alimentador de materias primas conocido *per se* para alimentar materias primas a través de la sección del postquemador. Tal disposición del alimentador permite ventajosamente un precalentamiento adecuado de la materia prima descargada en el baño de fundición. Como alternativa a lo anterior, o en combinación con lo mismo, el alimentador de materia prima puede consistir en un alimentador sumergido dispuesto en la sección del fundidor de combustión sumergida, por debajo del nivel de la masa fundida.

El conjunto de fundidor de la invención no se limita a formas particulares de la sección del fundidor de combustión sumergida y la sección del postquemador o de ambas. Como se entenderá fácilmente, la sección del fundidor de combustión sumergida puede mostrar una sección transversal poligonal sustancialmente horizontal o transversal o una sección transversal circular u ovoidal sustancialmente horizontal. De forma similar, la sección vertical puede ser ventajosamente trapezoidal o rectangular. Por razones de facilidad de construcción y de resistencia mecánica, se prefiere un conjunto de fundidor cilíndrico.

De acuerdo con la invención, los quemadores sumergidos pueden controlarse para generar una gran turbulencia en la masa fundida mediante la inyección de gas de combustión y los flujos de convección, aumentando así el volumen de fundición en al menos un 8 %, preferiblemente en al menos un 10 %, más preferiblemente al 15 %, en comparación con el volumen que tendría la masa fundida a la misma temperatura, pero sin ningún encendido del quemador sumergido. Se ha encontrado que el horno es más eficiente cuando la densidad de la masa fundida se ha reducido en los porcentajes relevantes, por inclusión de burbujas de gas.

En relación con lo anterior, el volumen de la masa fundida sin ningún quemador sumergido se puede calcular basándose en la carga de materia prima y la temperatura. El nivel de la masa fundida en el fundidor puede medirse mediante dispositivos de medición apropiados, tales como dispositivos láser conocidos o similares, como dispositivos de radar u otros, que promedian la detección de nivel durante un período de tiempo determinado.

Preferentemente, los quemadores sumergidos se controlan de tal forma que no se genera ninguna capa de espuma significativa o ninguna capa de espuma en absoluto sobre la parte superior de la masa fundida, porque se ha

encontrado que una capa de espuma es contraproducente para la transferencia de energía en general y el intercambio de calor más en particular.

5 La sección del fundidor de combustión sumergida comprende al menos un quemador, ventajosamente un único quemador de combustión sumergida dispuesto centralmente. Puede comprender ventajosamente al menos 3 o al menos 5 quemadores. Dependiendo de la sección transversal sustancialmente horizontal, los quemadores pueden estar dispuestos de acuerdo con un patrón de diseño apropiado. En el caso de una sección transversal rectangular, los quemadores pueden estar dispuestos en el fondo del fundidor, a lo largo de un eje central o a lo largo de dos líneas preferiblemente paralelas. En el caso de una sección transversal ovoide, los quemadores pueden estar dispuestos en una línea de quemadores ovoides, a una distancia adecuada de las paredes del fundidor, tal y como se conoce en la técnica, para evitar el desgaste y/o la corrosión innecesarios de las paredes o del revestimiento de las paredes. En el caso de una sección transversal circular, los quemadores se pueden disponer ventajosamente en una línea circular de quemadores, a una distancia adecuada de las paredes del fundidor. También se pueden proporcionar combinaciones de los patrones de diseño anteriores con quemadores centrales. También son posibles otras combinaciones, como una disposición de los quemadores en una línea circular de quemadores en un fundidor que muestra una sección transversal rectangular. Haciendo uso de sus conocimientos, experiencia y habilidad, el experto en la materia identificará los diseños adecuados para los fines perseguidos.

20 De acuerdo con una realización particularmente preferida, al menos tres, preferiblemente al menos cinco, quemadores de combustión sumergida funcionales se disponen en el fondo del fundidor de combustión sumergida, en una línea de quemadores sustancialmente circular a una distancia entre quemadores adyacentes, en un conjunto de fundidor sustancialmente cilíndrico, tal como para generar un patrón de flujo de fundición que, cuando se simula mediante análisis de dinámica de fluidos computacional, muestra un patrón de flujo de fundición sustancialmente toroidal en la masa fundida, comprendiendo el patrón de flujo vectores de flujo principales centralmente convergentes hacia dentro en la superficie de la masa fundida, siendo el eje central de revolución del toroide sustancialmente vertical. Preferentemente, la masa fundida en el fundidor comprende un solo patrón de flujo toroidal de este tipo. Cerca del eje vertical de revolución de dicho patrón de flujo toroidal, los vectores de flujo cambian de orientación mostrando una componente hacia abajo, reflejando así un movimiento descendente significativo de la masa fundida en la proximidad de dicho eje. En el fondo del fundidor, los vectores de flujo cambian de orientación nuevamente mostrando componentes orientadas hacia fuera y después hacia arriba.

35 Preferiblemente, el código del modelo de dinámica de fluidos es ANSYS R14.5, teniendo en cuenta el campo de flujo multifásico con fases que van del material por lote sólido a la masa fundida líquida, a varias especies de gas asociadas tanto con la combustión de combustible y oxidante por los quemadores como con las generadas en el curso del proceso de conversión por lote a masa fundida.

40 La generación de un patrón de flujo toroidal de este tipo asegura una mezcla altamente eficiente y homogeneiza la masa fundida en términos de perfil de temperatura y composición. Así mismo, el patrón de flujo toroidal favorece la absorción de materia prima en la masa fundida, mejorando así la transferencia de calor a la materia prima fresca y reduciendo el tiempo de residencia requerido en el fundidor antes del retiro para su posterior conformación, mientras se evita o al menos se reduce el riesgo de que la materia prima acorte la circulación de la masa fundida.

45 La masa fundida se puede retirar para su posterior procesamiento aguas abajo, incluida la conformación de vidrio plano o de envases de vidrio, conformación continua de fibra o producción de fibra de lana mineral. Si bien se puede efectuar un refinado de la masa fundida descargada entre el conjunto de fundidor y aguas arriba de la una o más etapas de conformación, la salida se lleva preferiblemente directamente a la fibrización sin ninguna etapa de refinado específica, en el caso de la producción de fibra de lana mineral.

50 Los quemadores se pueden alimentar preferiblemente con un gas combustible, que comprende en particular una o más hidrocarburos, por ejemplo, gas natural, y un gas que contiene oxígeno, en particular oxígeno, oxígeno de grado técnico (por ejemplo, gas con un contenido de oxígeno de al menos el 95 % en peso) o aire enriquecido con oxígeno. Preferentemente, el gas combustible y el gas que contiene oxígeno se suministran por separado al quemador y se combinan en el quemador y/o en la una o más boquillas del quemador. Como alternativa, otros tipos de combustible, por ejemplo, combustible líquido o combustibles sólidos pulverizados, pueden utilizarse, en particular para fines de vitrificación de residuos.

60 En aras de la claridad, por patrón de flujo toroidal se entiende que los vectores de velocidad del material fluido en movimiento, generados por simulación mediante análisis de dinámica de fluidos computacional forman un patrón de circulación en el que llenan secciones transversales de un toroide que tiene como eje central de revolución el eje vertical que atraviesa el centro del círculo del quemador sustancialmente circular y como diámetro exterior aproximadamente el diámetro exterior de dicha zona del quemador circular, con material que fluye desde el exterior hacia el centro en la superficie de masa fundida. Tal flujo toroidal arrastra la materia prima fresca de forma central y profunda en la fundición de vidrio y mejora la eficiencia en la transmisión de calor a la materia prima fresca para fundirla rápida y fácilmente y mejorar aún más la homogeneidad de la masa fundida en términos de tanto, composición como temperatura.

65

5 La masa fundida se puede retirar de forma continua o por lotes, por ejemplo, lateralmente. Se puede disponer una estructura de salida tipo sifón aproximadamente en el nivel de masa fundida, para la extracción continua y el control ventajoso de la salida de masa fundida y el nivel de masa fundida. En el caso de descarga discontinua de la masa fundida, puede controlarse la apertura y el cierre de un orificio de descarga en el fondo de la sección del fundidor de combustión sumergida, por ejemplo, por un pistón cerámico.

10 Los quemadores sumergidos inyectan preferiblemente chorros de alta presión de los productos de combustión en la masa fundida suficientes para vencer la presión del líquido y crear un movimiento ascendente forzado de la llama y los productos de combustión. La velocidad de la combustión y/o gases combustibles, en particular a la salida de la una o más boquillas del quemador, puede ser  $\geq 60$  m/s,  $\geq 100$  m/s o  $\geq 120$  m/s y/o  $\leq 350$  m/s,  $\leq 330$  m/s,  $\leq 300$  o  $\leq 200$  m/s. Preferiblemente, la velocidad de los gases de combustión está en el intervalo de aproximadamente 60 a 300 m/s, preferiblemente de 100 a 200, más preferiblemente de 110 a 160 m/s.

15 La temperatura de la masa fundida puede estar entre 1100 °C y 1600 °C o 1650 °C; puede ser al menos 1200 °C o 1250 °C y/o como máximo 1500 °C o 1450 °C dependiendo de la composición del material por lote y de la viscosidad deseada de la masa fundida. De acuerdo con una realización preferida, las paredes de la cámara de fundición comprenden paredes dobles de acero separadas por líquido refrigerante circulante. Particularmente en el caso de una cámara de fundición cilíndrica, tal conjunto es relativamente fácil de construir y es capaz de resistir esfuerzos mecánicos elevados. La forma cilíndrica del fundidor facilita el equilibrio de la tensión en la pared exterior. A medida que las paredes se enfrían, preferiblemente enfriadas por agua, la masa fundida se solidifica y forma una capa protectora en el interior de la pared del fundidor. Preferentemente, el conjunto de fundidor no requiere ningún revestimiento refractario interno y, por lo tanto, necesita un mantenimiento menos o menos costoso que los fundidores de la técnica anterior. De forma adicional, la masa fundida no está contaminada con ningún componente indeseable de material refractario erosionado del revestimiento refractario interno. En el caso de una masa fundida de vidrio, por ejemplo, el vidrio se solidifica sobre la pared enfriada y forma una capa aislante o capa límite; el vidrio se funde así en vidrio y la masa fundida no se contamina con residuos de erosión de ningún material refractario. La cara interna de la pared del fundidor puede ventajosamente estar equipada con pestañas o pastillas u otros pequeños elementos que sobresalgan hacia el interior del horno. Estas pueden ayudar a constituir y fijar una capa de masa fundida solidificada sobre la pared interna del fundidor que genera una resistencia térmica y reduce la transferencia de calor al líquido refrigerante en las paredes dobles del fundidor.

35 El conjunto de fundidor de la invención puede estar equipado con un equipo de recuperación de calor; los humos calientes del conjunto de fundidor pueden usarse para precalentar la materia prima por lote o la energía térmica contenida en los mismos puede extraerse y/o usarse para otros fines en equipos aguas arriba o aguas abajo de una línea de producción, por ejemplo, una línea de producción de productos de fibra aislante. De forma similar, la energía térmica contenida en el líquido refrigerante que circula entre las paredes dobles de acero del conjunto fundidor, incluyendo la sección del fundidor de combustión sumergida y posiblemente la sección del postquemador, pueden recuperarse y utilizarse para fines apropiados, incluso en equipos aguas arriba y/o aguas abajo de una línea de producción.

40 El fundidor puede adaptarse y/o configurarse para sinterizar y/o fundir materias primas. Puede ser un "fundidor de vidrio", es decir, un fundidor adaptado y/o configurado para fundir materiales similares al vidrio, incluidos materiales seleccionados entre el vidrio, materiales vítreos, piedra y roca. Se puede utilizar un fundidor de vidrio para fabricar vidrio plano, vidrio hueco, fibras de vidrio, fibras continuas con fines de refuerzo, fibras minerales para fines de aislamiento, lana mineral, lana de roca o lana de vidrio. El fundidor puede utilizarse para transformar materias primas para fabricar fritas, escoria de cemento, en particular, escoria de cemento de alúmina, o abrasivos, en particular abrasivos producidos por fundición. El fundidor se puede utilizar para transformar materias primas, en particular por vitrificación, por ejemplo: vitrificación de residuos médicos; vitrificación de ceniza, en particular de incineradores; vitrificación de polvos, por ejemplo polvos de fundición de hierro u otros metales; vitrificación de lodos galvánicos, lodos de curtiduría o residuos de la industria minera; residuo de residuos, en particular por vitrificación, por ejemplo, de suelo contaminado, suelo contaminado por metales pesados o alquitrán, filtros de arcilla, lodo, carbón activado, residuo radioactivo, escorias que contengan plomo o zinc, refractarios, en particular refractarios que contienen cromo. Particularmente en el caso de un fundidor de vidrio, las materias primas pueden comprender: silicatos, basalto, caliza, ceniza de soda, catalizador de zeolita, catalizador gastado, revestimiento de olla gastado, materiales refractarios, escoria de aluminio, escoria de fundición de aluminio, residuos a base de arena para extintores, lodo, lodo galvánico, escoria, materiales de residuo, cenizas y combinaciones de las mismas.

60 El método descrito y el conjunto de fundidor son particularmente adecuados para fundir todo tipo de material vitrificable de forma eficiente, con un consumo de energía reducido y con costos de mantenimiento reducidos. Un fundidor según la invención es, por lo tanto, particularmente atractivo para su uso en una línea de producción de productos de fibra mineral, por ejemplo, fibras de vidrio, fabricación de lana de vidrio y lana de roca. Particularmente en el caso de la producción de fibra de lana mineral, la salida se lleva preferiblemente directamente a la fibrización sin una etapa de refinado.

65 En el caso de una fundición de vidrio, la composición de la masa fundida producida puede comprender uno o más de:

	Composición posible de la masa fundida (% en peso)	Composición preferida de la de masa fundida (% en peso)
SiO <sub>2</sub>	35-70	40-65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-30	15-25
CaO	5-20	5-12
MgO	0-10	1-7
Na <sub>2</sub> O	0-20	5-18
K <sub>2</sub> O	0-15	0-10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (hierro total)	0-15	0,5-10
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0-10	0-5
TiO <sub>2</sub>	0-5	0-2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0-3	0-2
MnO	0-3	0-2
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O (óxido de metal alcalino)	5-30	5-20
CaO+MgO (óxido de metal alcalinotérreo)	5-30	5-20
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50-85	60-80

El contenido de boro del vidrio producido, expresado como B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, puede ser  $\geq 1$  % en peso,  $\geq 2$  % en peso,  $\geq 3$  % en peso,  $\geq 5$  % en peso y/o  $\leq 20$  %,  $\leq 18$  %,  $\leq 15$  % o  $\leq 10$  % en peso.

- 5 A continuación se describirá con más detalle una realización de la presente invención, con referencia a los dibujos adjuntos, de los que:
- la Figura 1 muestra esquemáticamente una sección vertical a través de un conjunto de fundidor;
  - la Figura 2 es una representación esquemática de un diseño del quemador; y
- 10 - las Figuras 3a y 3b son representaciones de un patrón de flujo toroidal generado por simulación por ordenador.

La Figura 1 muestra un conjunto de fundidor 1 de acuerdo con la invención que comprende una sección del fundidor de combustión sumergida 3, un sistema de escape aguas abajo de la sección del fundidor de combustión sumergida y una sección del postquemador 5. La sección del fundidor de combustión sumergida 3 está diseñada para contener el baño de fundición 4 en un nivel máximo de masa fundida 4' y comprende al menos un quemador de combustión sumergida 21, 24 y una salida de masa fundida 9. En el ejemplo de realización, la salida 9 está dispuesta cerca del fondo de la sección del fundidor de combustión sumergida y puede ser controlada por un pistón para la descarga por lotes de la masa fundida contenida en la sección del fundidor de combustión sumergida 3. La sección del postquemador 5 está diseñada como un espacio contiguo, y en continuidad con, el espacio interno definido por la sección del fundidor de combustión sumergida 3, y dispuesta sobre el nivel máximo de masa fundida 4' de la sección del fundidor de combustión sumergida 3. La sección transversal horizontal o transversal de la sección del postquemador es sustancialmente equivalente a la de la sección del fundidor de combustión sumergida 3. La sección del postquemador 5 está dimensionada de tal forma que, en condiciones normales de funcionamiento, los gases que escapan del baño de fundición 4 contenidos en la sección del fundidor de combustión sumergida 3 permanecen durante aproximadamente 2 segundos a una temperatura de al menos 850 °C en el espacio delimitado por dicha sección del postquemador. Por lo tanto, la sección del postquemador está diseñada para cumplir con el concepto general de un postquemador. La sección del postquemador 5 está además conectada a una salida de gases de escape 6. Puede comprender además deflectores 7 para evitar que las proyecciones de masa fundida generadas por la fuerte turbulencia de la masa fundida 4 contenida en la sección del fundidor de combustión sumergida 3 sean arrastradas en el flujo de gas efluente con todas las desventajas que puede conllevar con respecto a la deposición de solidificación o proyecciones de masa fundida solidificada y obstrucción de ciertos elementos del sistema de escape. En el ejemplo de realización, un alimentador de materia prima 10 está dispuesto en la sección del postquemador y está diseñado para descargar materia prima vitrificable sobre la parte superior del baño de fundición agitado 4. Como se ha descrito anteriormente, también se puede prever un alimentador de materias primas en la sección del fundidor de combustión sumergida; dicho alimentador de materias primas consiste entonces preferiblemente en un alimentador sumergido y puede proporcionarse como una alternativa o además del alimentador 10 descrito anteriormente.

Como puede verse en la Figura 2, el conjunto de fundidor 3 tiene una sección transversal circular 19. El conjunto de fundidor que comprende la sección del fundidor y la sección del postquemador representada en las Figuras es ventajosamente sustancialmente cilíndrico. La combustión sumergida genera componentes de alta tensión que actúan sobre las paredes del fundidor y el fundidor está sujeto a fuertes vibraciones. Estas pueden reducirse significativamente en el caso de una cámara de fundición cilíndrica. Si así se desea, el fundidor puede montarse además sobre amortiguadores que están diseñados para absorber la mayor parte de los movimientos vibratorios. Seis quemadores 21, 22, 23, 24, 25, 26 están dispuestos en una línea circular de quemadores 27. En aras de la claridad, el diseño representado en las Figuras tiene una disposición preferencial con seis quemadores sumergidos distribuidos alrededor de la línea de quemadores. Son posibles diferentes diseños dependiendo de las dimensiones del fundidor, la viscosidad de la masa fundida y las características de los quemadores.

- Las paredes, incluyendo paredes inferiores y laterales, de la sección del fundidor de combustión sumergida 3 consisten en paredes dobles de acero. El fluido refrigerante, preferiblemente agua, circula entre dichas paredes para el enfriamiento. De forma similar, las paredes laterales de la sección del postquemador también consisten en paredes dobles de acero enfriadas por fluido refrigerante en circulación, preferiblemente agua. Las conexiones de agua de enfriamiento se proporcionan en las paredes externas. Tales conexiones son conocidas *per se* y deben calcularse para permitir un flujo de fluido refrigerante suficiente para extraer energía de la pared interior de modo que la masa fundida pueda solidificarse en la pared interna a aproximadamente 150 °C y el líquido refrigerante, aquí agua, no hierve.
- Los quemadores de combustión sumergida 21, 22, 23, 24, 25, 26 pueden comprender quemadores de tubo concéntrico (también conocidos como quemadores de tubo en tubo) que funcionan con un flujo de gas o una velocidad en la masa fundida de 100 a 200 m/s, preferiblemente de 110 a 160 m/s. Los quemadores están preferiblemente diseñados para generar combustión de gas combustible y aire y/u oxígeno dentro de la masa fundida. La combustión y los gases de combustión generan una alta mezcla dentro de la masa fundida antes de que escapen a la sección del postquemador 5 y después a través de la chimenea 6. Estos gases calientes pueden utilizarse para precalentar la materia prima y/o el gas combustible y/o el oxidante (aire y/u oxígeno) utilizados en los quemadores. Los humos se filtran por lo general antes de su liberación al medio ambiente. Cuando sea necesario filtrar a temperaturas reducidas, se puede usar una dilución previa de los humos con aire ambiente más frío.
- Durante el funcionamiento normal, los quemadores sumergidos 21,22,23,34,35,26 inyectan chorros de alta presión de productos de combustión de oxígeno y combustible, preferiblemente gas propano, suficiente para superar la presión del líquido en el fundido y crear un movimiento ascendente forzado de la llama y los productos de combustión. La velocidad de la combustión y/o gases combustibles, en particular a la salida de la una o más boquillas del quemador, puede ser  $\geq 60$  m/s,  $\geq 100$  m/s o  $\geq 120$  m/s y/o  $\leq 350$  m/s,  $\leq 330$  m/s,  $\leq 300$  o  $\leq 200$  m/s. Preferiblemente, la velocidad de los gases de combustión está en el intervalo de aproximadamente 60 a 300 m/s, preferiblemente de 100 a 200, más preferiblemente de 110 a 160 m/s. Por lo tanto, los gases de combustión generan una gran turbulencia en el baño de fundición, lo que garantiza una transferencia de energía adecuada entre los gases calientes y la masa fundida y/o la materia prima fresca absorbida en su interior. La alta turbulencia asegura así una masa fundida homogénea en términos de composición y temperatura.
- Los quemadores sumergidos se controlan de tal manera que el gas de combustión inyectado y los flujos de convección dentro de la masa fundida generan una turbulencia tal que el volumen de la masa fundida aireada es aproximadamente un 30 - 50 % más alto que el volumen que tendría la masa fundida sin ningún quemador sumergido encendido. Preferentemente, los quemadores sumergidos se controlan para que no generen ninguna capa de espuma significativa o ninguna capa de espuma en la parte superior de la masa fundida.
- Así mismo, los quemadores sumergidos 21, 22, 23, 24, 25, 26 están dispuestos en la sección del fundidor cilíndrica de combustión sumergida y controlados de tal manera que se genera un patrón de flujo de masa fundida toroidal en la sección del fundidor. La distancia entre quemadores está comprendida entre 250 y 900 mm, preferiblemente aproximadamente 300 - 800. Además, los quemadores están dispuestos a una distancia adecuada de aproximadamente 150 - 750 mm de la pared lateral de dicha sección del fundidor de combustión sumergida 3; esto favorece el flujo descrito anteriormente y evita la atracción de llamas hacia las paredes laterales de la cámara de fundición. Una distancia demasiado pequeña entre los quemadores y la pared lateral puede dañar o forzar innecesariamente la pared lateral. Se hace referencia a las Figuras 3a y 3b. La masa fundida sigue una dirección ascendente cerca de los quemadores sumergidos dispuestos en una línea de quemadores sustancialmente circular, fluye hacia dentro hacia el centro de la línea circular relevante, en la superficie de masa fundida, y después hacia abajo de nuevo, en las proximidades de dicho centro. Tal flujo toroidal asegura una buena agitación de la masa fundida y la absorción de materia prima fresca. El experto deberá adaptar la distancia entre los quemadores y entre el quemador y la pared, para diseños de quemadores dados, tal como para evitar que las llamas del quemador se fusionen o sean atraídas a la pared o de otra manera desviadas del eje central del quemador
- Como se entenderá, pueden tener lugar circulaciones de flujo adicionales. La masa fundida puede fluir entre los quemadores y la pared lateral. Pueden tener lugar otros flujos entre quemadores. Estos no son necesariamente desventajosos y, por el contrario, incluso pueden ser deseables.
- El patrón de flujo toroidal ha sido generado por simulación por ordenador, teniendo en cuenta el Euleriano común, técnicas de modelado de dinámica de fluidos multifase familiares para los expertos en la materia. El código de dinámica de fluidos computacional seleccionado para este ejercicio ventajosamente es ANSYS R14.5. El modelo tiene en cuenta ventajosamente el campo de flujo multifásico que abarca toda la gama de fracciones de la mezcla, desde burbujas de gas dispersas en líquido hasta partículas sólidas distribuidas o gotitas de líquido en gas, con el lote de fase sólida experimentando una reacción de conversión termoquímica de múltiples fase para producir especies fundidas en fase líquida y en fase gaseosa. El sistema utiliza combustión sumergida de combustible y especies en fase gaseosa de oxígeno para producir dióxido de carbono y vapor de agua. De forma adicional, la viscosidad de la masa fundida depende en gran medida de la temperatura. El complejo proceso de conversión por lote a fundición se puede modelar con el paso de reacción siguiendo una ley de velocidad de Arrhenius

$$\text{Lote}_{\text{sólido}} + \Delta H_r > \text{Masa fundida}_{\text{líquida}} + 0,074\text{CO}_2 + 0,093\text{H}_2\text{O}$$

con velocidad de reacción de Arrhenius  $k = AT^2 e^{(-E/T)}$

5 las constantes de velocidad de Arrhenius se tomaron de la bibliografía (véase A Ungan y R Viskanta, "Comportamiento de fundición de mantas por lotes sueltas cargadas continuamente en hornos de fundición de vidrio", *Glastech. Ber.* 59 (1986) n.º 10, págs. 279-291. Las relaciones molares de los gases por lote en esta reacción son consistentes con la producción de 0,0503 kg CO<sub>2</sub> y 0,0258 kg H<sub>2</sub>O por lote de 1 kg. El calor de reacción representa toda la energía requerida para convertir el lote en especies fundidas y gaseosas en fase líquida, incluyendo tanto la conversión química como los requisitos de calor de cambio de fase. Las propiedades físicas para el lote y la masa fundida pueden tomarse de la bibliografía en la medida en que esté disponible y/o pueden determinarse mediante métodos conocidos *per se*.  
10 El intercambio de calor por radiación se simula utilizando el modelo de radiación de ordenadas discretas, con el coeficiente de absorción de la fase gaseosa estimado mediante el modelo de Suma Ponderada de los Gases Grises, el coeficiente de absorción de masa fundida especificado (hasta un valor elevado de 300 l/m) y el coeficiente de absorción por lote especificado ventajosamente para hacerlo opaco con respecto a los otros fluidos. Si bien la masa  
15 fundida se asigna como la fase fluida primaria y los gases se asignan como la fase fluida secundaria que tiene un diámetro de burbujeo uniforme de 5 mm. El intercambio de cantidad de movimiento entre las fases líquida y gaseosa por encima de la altura prevista del baño se suprime artificialmente.

20 En un ejemplo de un conjunto de fundidor de la invención, la sección 3 ilustrada del fundidor de combustión sumergida muestra un diámetro de aproximadamente 2,0 m. Los quemadores sumergidos están dispuestos en una línea circular de quemadores concéntrica con el eje del quemador y con un diámetro de aproximadamente 1,4 m. La distancia entre el quemador de combustión sumergida y la pared es de aproximadamente 0,10 - 0,20 m. La temperatura dentro de la masa fundida puede estar comprendida entre 1100 °C y 1600 °C o 1650 °C, o 1200 °C y 1500 °C, o 1200 °C y 1450 °C, preferiblemente entre 1250 °C y 1400 °C, dependiendo de la composición de la masa fundida, viscosidad deseada  
25 y otros parámetros. Para el modelado de dinámica de fluidos computacional del fundidor descrito anteriormente (consulte el patrón de flujo que se muestra en la Figura 1), en el modelo se fijó una entrada por lote de 0,833 kg/s a una temperatura de entrada de 27 °C, consistente con una tasa de producción de 72 T/día. La entrada del quemador se ajustó de la siguiente manera: tasa de encendido = 5,2 WM (basado en LHV); caudal másico de 0,109 kg/s por quemador; composición molar = 0,11 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>; 0,89 O<sub>2</sub>; temperatura de entrada de 15 °C. Las paredes se modelaron especificando una temperatura superficial uniforme de 152 °C detrás de un espesor de vidrio solidificado que sirve como aislante. La conductividad térmica especificada para el vidrio es de 1 W/mK. El espesor del vidrio, nominalmente  
30 15 mm, se varía para lograr un flujo de calor promedio de 50 a 70 kW/m<sup>2</sup>.

35 Se ha descubierto que el conjunto del sistema de escape del fundidor puede diseñarse con un postquemador reducido o simplificado o que el postquemador puede omitirse por completo en el sistema de escape montado aguas abajo del conjunto de fundidor. De acuerdo con la invención, el sistema de escape no comprende ningún postquemador. En cualquiera de las situaciones anteriores, la inversión de capital requerida para la construcción de una fundición de vidrio se reduce significativamente. Al mismo tiempo, los requisitos de energía para operar un fundidor de combustión sumergida se reducen también aún más, mejorando así la eficiencia energética, debido a un postquemador reducido  
40 u omisión del mismo en el sistema de escape montado aguas abajo del conjunto de fundidor. Se ha determinado que el ejemplo de conjunto fundidor de la invención con postquemador integrado ya no requiere ningún postquemador conocido *per se* para su disposición en el sistema de escape aguas abajo del conjunto fundidor.

45 Un fundidor de acuerdo con la invención es particularmente ventajoso en una fibra de vidrio, línea de producción de lana de vidrio o lana de roca o una línea de producción de vidrio plano o vidrio hueco, porque es particularmente eficiente, lo que conduce a un consumo de energía reducido y una mayor flexibilidad que permite cambiar fácilmente la composición de la materia prima. La facilidad de mantenimiento y los bajos costes de producción del conjunto fundidor de la invención son de gran interés en la construcción de una línea de producción que comprenda un fundidor de este tipo. Está dentro de la experiencia y habilidad de la persona experta en la materia diseñar una línea de  
50 producción como se ha descrito anteriormente que comprende medios de recuperación de energía adecuados y medios para el uso de la energía recuperada en equipos relevantes en la línea de producción, tal como por ejemplo el precalentamiento de la materia prima, precalentamiento del combustible y/u oxidante aducido a los quemadores, calentamiento de hornos montados aguas abajo del equipo de conformación, etc.

55 Vidrio plano, vidrio hueco, fibras continuas o fibras de lana mineral, lana de vidrio o lana de roca se puede producir de forma ventajosa fundiendo materia prima vitrificable adecuadamente seleccionada en un conjunto de fundidor como se ha descrito anteriormente, y extrayendo vidrio fundido de dicho conjunto de fundidor para su procesamiento posterior en vidrio plano, vidrio hueco, tal como recipientes de vidrio, fibras de vidrio, lana de vidrio o lana de roca. El proceso puede adaptarse al producto final mediante la elección del procesamiento posterior adecuado.

**REIVINDICACIONES**

1. Conjunto de fundidor para fundir materia prima sólida por lotes, que comprende una sección del fundidor de combustión sumergida (3), un sistema de escape aguas abajo de la sección del fundidor de combustión sumergida (3) y una sección del postquemador (5), en donde la sección del fundidor de combustión sumergida (3) está diseñada para contener el baño de fundición (4) a un nivel máximo de masa fundida (4') y comprende al menos un quemador de combustión sumergido (21, 24) y una salida de masa fundida (9), y en donde la sección del postquemador (5) está diseñada como un espacio contiguo, y en continuidad con, el espacio interno definido por la sección del fundidor de combustión sumergida (3), y dispuesta sobre el nivel máximo de masa fundida (4') de la sección del fundidor de combustión sumergida (3), y está dimensionada de tal forma que, en condiciones normales de funcionamiento, los gases que escapan del baño de fundición contenido en la sección del fundidor de combustión sumergida permanecen durante al menos 1 segundo a una temperatura de al menos 750 °C en dicha sección del postquemador (5), estando dicha sección del postquemador conectada a una salida de gases de escape (6); en donde la sección del postquemador (5) muestra una sección transversal sustancialmente equivalente a la sección transversal sustancialmente horizontal de la sección del fundidor de combustión sumergida y la altura del conjunto de fundidor está adaptada para generar un espacio sobre el baño de fundición que cumpla con los requisitos de una sección del postquemador, es decir, tiempos de residencia superiores a 1 s a una temperatura de al menos 750 °C, y en donde el sistema de escape no comprende ningún postquemador.
2. Conjunto de fundidor de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la sección del postquemador (5) está dimensionada de tal forma que los gases que escapan del baño de fundición (4) contenido en la sección del fundidor de combustión sumergida (3) permanecen durante al menos 2 segundos a una temperatura de al menos 800 °C, preferiblemente, de al menos 850 °C, en dicha sección del postquemador (5).
3. Conjunto de fundidor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el alimentador de materia prima (10) está conectado a la sección del postquemador (5).
4. Conjunto de fundidor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el alimentador de materia prima es un alimentador sumergido conectado a la sección del fundidor de combustión sumergida (3).
5. Conjunto de fundidor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la sección del postquemador (5) comprende deflectores (7).
6. Conjunto de fundidor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la sección del poscombustión comprende medios de combustión y/o medios de inyección de reactivos adicionales, tales como dispositivos para la inyección de gas que contiene oxígeno.
7. Conjunto de fundidor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la sección del postquemador (5) comprende medios de recuperación de calor.
8. Conjunto de fundidor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la sección del fundidor de combustión sumergida (3) muestra
- una sección transversal horizontal, rectangular o poligonal, preferiblemente trapezoidal; o
  - una sección transversal horizontal sustancialmente circular (19) u ovoidal; o
  - una sección transversal vertical esencialmente trapezoidal o rectangular.
9. Conjunto de fundidor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la sección del fundidor de combustión sumergida (3) comprende un quemador de combustión sumergida dispuesto sustancialmente en el centro o al menos tres quemadores de combustión sumergida (21, 22, 23, 24, 25, 26), preferiblemente al menos 5 quemadores de combustión sumergida, y en donde dichos quemadores de combustión sumergida están dispuestos en una línea de quemador sustancialmente anular u ovoidal (27), estando dichos quemadores de combustión sumergida dispuestos a través del fondo de dicha sección del fundidor de combustión sumergida (3).
10. Conjunto de fundidor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las paredes de la sección del fundidor de combustión sumergida comprenden paredes dobles de acero separadas por líquido refrigerante en circulación, preferiblemente agua.
11. Conjunto de fundidor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las paredes de la sección del postquemador comprenden paredes dobles de acero separadas por líquido refrigerante en circulación, preferiblemente agua.
12. Línea de producción de vidrio plano, vidrio hueco, fibras de vidrio, lana de vidrio o lana de roca, que comprende un conjunto de fundidor (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
13. Línea de producción de acuerdo con la reivindicación 13 que comprende medios de recuperación de energía y

medios para el uso de la energía recuperada en equipos relevantes de la línea de producción, tal como precalentamiento de la materia prima, precalentamiento del combustible y/o del oxidante añadidos a los quemadores del fundidor, calentamiento de hornos montados aguas abajo del equipo de conformación.

- 5 14. Proceso para la producción de vidrio plano, vidrio hueco, fibras continuas o fibras de lana mineral, lana de vidrio o lana de roca, que comprende fundir materia prima vitrificable en un conjunto de fundidor (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 y extraer vidrio fundido de dicho conjunto de fundidor para su procesamiento aguas abajo dando fibras de vidrio, lana de vidrio o lana de roca, y preferiblemente en donde los quemadores sumergidos se controlan de tal forma que el volumen de la masa fundida aireada sea al menos un 8 %, preferiblemente en al menos un 10 %, más preferiblemente al menos un 15 % más alto que el volumen que tendría la masa fundida a la misma temperatura sin ningún quemador encendido.
- 10

Fig 1

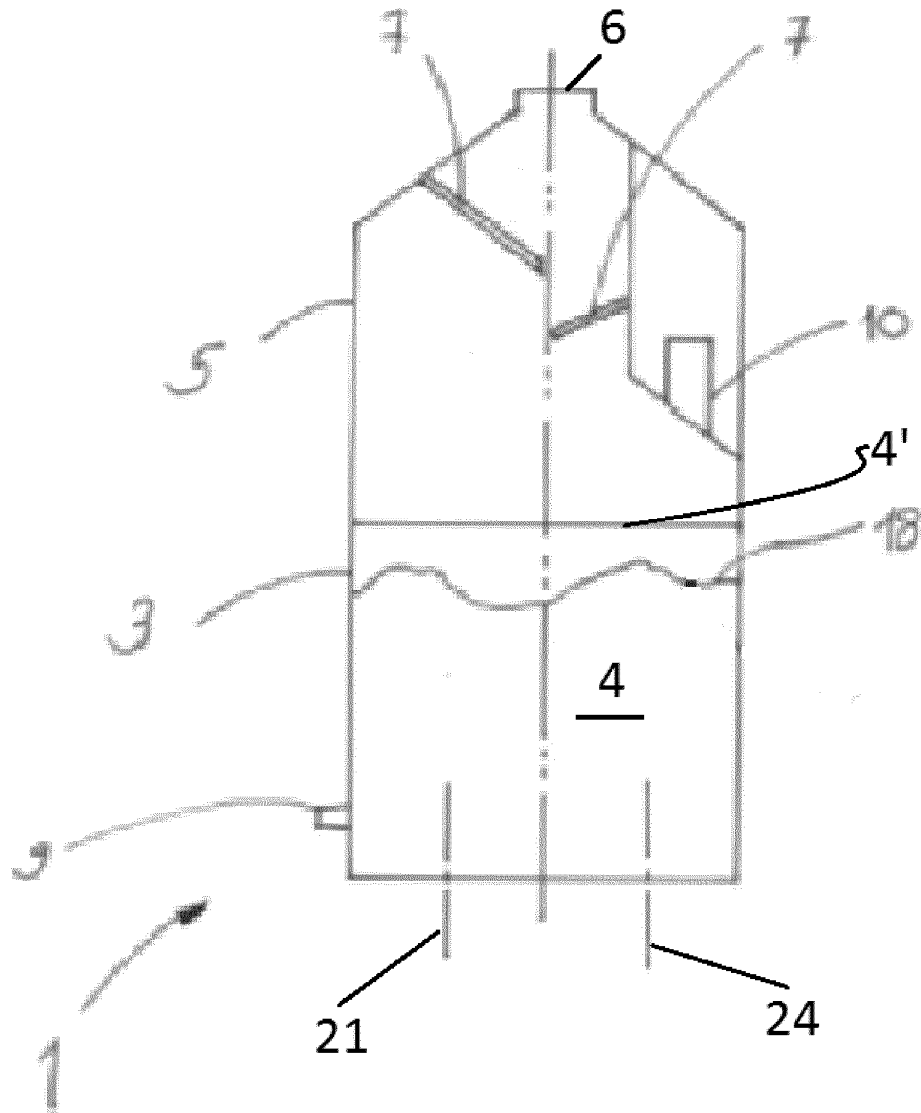


Fig. 2

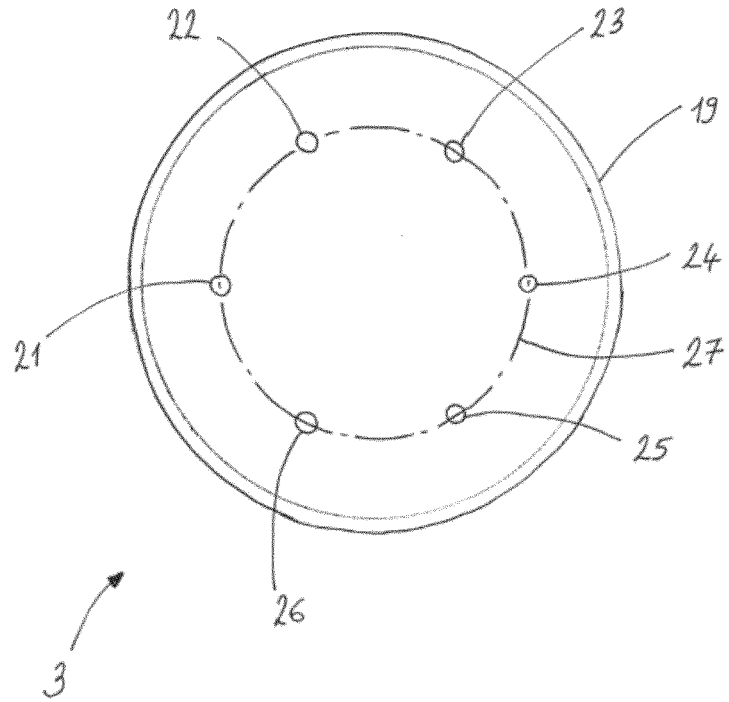


Fig. 3a

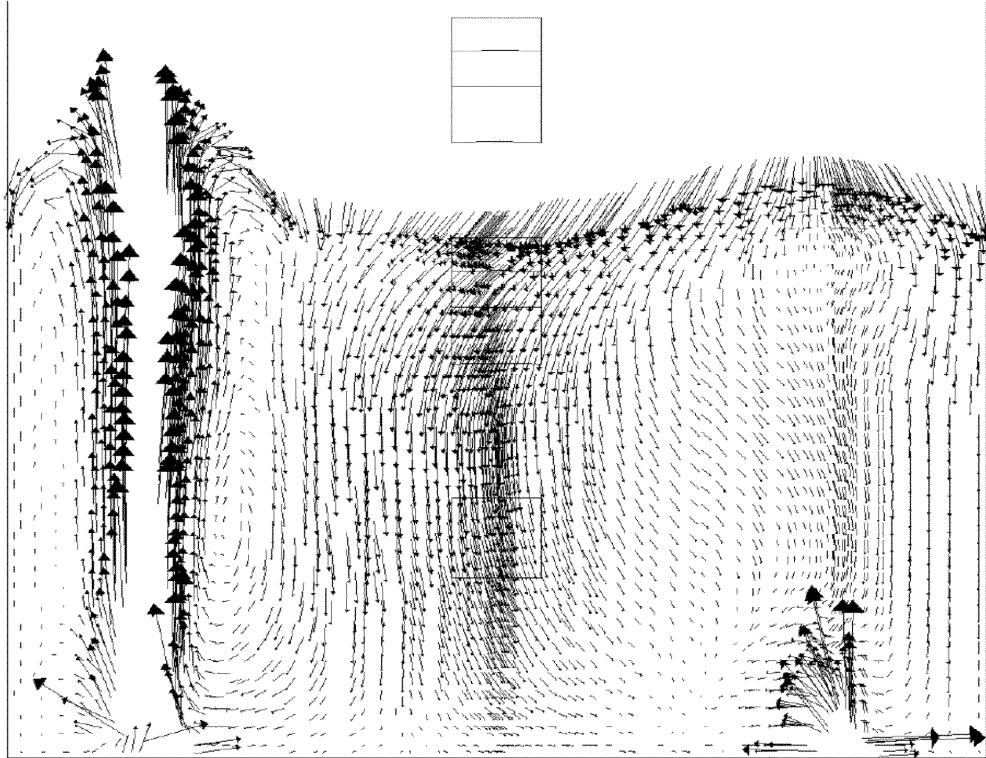


Fig 3b

