

PROCEDIMIENTO Y SISTEMA PARA MEDIR LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE UNA CORRIENTE DE FLUJO LIBRE

Campo técnico

[0001] La presente solicitud abarca procedimientos para determinar la viscosidad de una corriente de flujo libre en ambientes industriales, en particular en procesos industriales para la fabricación de vidrio, más específicamente para la fabricación de materiales con base de fibras de vidrio minerales, por ejemplo, lana mineral como por ejemplo lana de vidrio o lana de piedra.

Antecedentes técnicos

[0002] En las líneas de fabricación de una lana mineral, el vidrio fundido que proviene de los hornos de fundición de vidrio se transporta a través de un canal de distribución para introducir una herramienta de fibrización. Desde el canal de distribución hasta la herramienta de fibrización el vidrio fundido fluye a través de lo que se denomina casquillo. El casquillo generalmente está diseñado como una apertura extendida por una boquilla o bandeja de drenaje y finalizado con un agujero desde el que fluye el vidrio fundido por la gravedad. En función de su tamaño y diámetro, el casquillo controla la tasa de flujo del vidrio fundido hacia la herramienta de fibrización.

[0003] Una herramienta de fibrización generalmente comprende un dispositivo de rotación a alta velocidad, denominado centrífuga, rotámetro, o plato giratorio, que está hecho de una pared anular a través de la cual se han perforado agujeros calibrados. Luego de introducirse con el vidrio fundido que sale del casquillo, el dispositivo de rotación a alta velocidad proyecta el vidrio fundido a través de los agujeros perforados para fundir hebras de vidrio.

[0004] La herramienta de fibrización también comprende un anillo o quemador anular que arroja una corriente o chorro gaseoso de temperatura elevada en una dirección sustancialmente tangencial a la pared anular para bajar las hebras de vidrio fundidas. La corriente o chorro de tracción también permite calentar y estirar las hebras de vidrio y formar fibras de vidrio.

[0005] Un requisito para obtener un producto de alta calidad, por ejemplo, lana de piedra o vidrio, es que las hebras de vidrio deben estirarse de forma apropiada mientras que se funden y bajan desde el dispositivo giratorio. La operación de tracción y estiramiento no debe ser muy intensa o rápida para así evitar que se rompan mientras que se permite al mismo tiempo formar las fibras de vidrio alargadas de manera suficiente. De lo contrario, el producto final, por ejemplo, lana de piedra o vidrio, ya no cumple los requisitos técnicos en lo que respecta, por ejemplo, al grosor y los rendimientos de aislamiento. El producto debe entonces descartarse, lo que da como resultado pérdidas financieras para los fabricantes.

[0006] Debido a que la tasa de flujo de un vidrio fundido depende de su temperatura y su química, resulta una práctica actual tomar muestras de forma puntual de vidrio fundido antes del casquillo y llevar a cabo análisis químicos. También es una práctica muy ampliamente utilizada la de medir puntualmente o supervisar de forma continua la temperatura del vidrio fundido en la cercanía del casquillo, por ejemplo, justo antes, después, o adentro.

[0007] A corto plazo, la tasa de flujo de un vidrio fundido durante la operación de tracción y estiramiento puede controlarse al cambiar su temperatura en la cercanía del casquillo. El ajuste de temperatura puede llevarse a cabo a través de una operación de calentamiento adaptado, por ejemplo, calentamiento de Joule a través del flujo de una corriente eléctrica en un casquillo metálico. A largo plazo, la química del vidrio fundido también puede verse modificada al adaptar la química de las materias primas en el proceso de fundición.

[0008] WO 8304437 A1 [GULLFIBER AB [SE]] 22.12.1983 divulga un procedimiento para medir la velocidad de flujo de una corriente de caída libre de vidrio fundido. El procedimiento depende de la medición del intervalo de tiempo entre señales similares a pulsos generadas por la inhomogeneidad dentro de la corriente y detectadas por dos detectores de radiación separados.

[0009] US 4 877 436 A [SHEINKOP ISAC [US]] 31.10.1989 divulga un procedimiento para controlar la tasa de flujo y la viscosidad del vidrio fundido durante la producción. El procedimiento depende del cálculo de la viscosidad del vidrio fundido con la ley de Hagen-Poiseuille para la que se requiere un conocimiento previo de la densidad del vidrio fundido.

[0010] [0010] US 5 170 438 A [GRAHAM FIBER GLASS LTD [CA]] 08.12.1992 divulga un aparato para determinar la tasa de flujo volumétrico de una corriente de flujo viscoso, como puede ser una corriente de vidrio fundido. El aparato lleva a cabo el procesamiento digital de imágenes de una corriente de flujo para medir su grosor desde el cual posteriormente se calcula una tasa de flujo luego de consideraciones geométricas sobre la forma de la corriente de flujo y el conocimiento previo de la velocidad y densidad del fluido.

Compendio de la invención

Problema técnico

[0011] El cambio de la temperatura del vidrio fundido en la cercanía del casquillo puede ser una operación preferida cuando la tasa de flujo necesita ajustarse rápidamente. No obstante, para evaluar si la temperatura debería aumentar o disminuir, primero se necesitará evaluar la viscosidad real o tasa de flujo del vidrio fundido.

[0012] Una práctica muy difundida para evaluar la viscosidad o la tasa de flujo de un vidrio fundido es la de basarse en la suposición de densidad de vidrio constante y/o viscosidad constante como puede ser en la ley de Hagen-Poiseuille. Si la densidad de un vidrio fundido depende en su química y temperatura, si se hubiera hecho la suposición de la química del vidrio fundido o si se hubiera medido, la densidad, muy probablemente, sería evaluada a partir de una medición de temperatura en la cercanía del casquillo.

[0013] La medición de la temperatura de un vidrio fundido en la cercanía del casquillo podría ser una operación difícil. Debido a las temperaturas elevadas y la falta de acceso, la medición generalmente se lleva a cabo con procedimientos ópticos en función de radiaciones de cuerpo negro, por ejemplo, pirómetros. No obstante, este tipo de medición puede ser demasiado sensible a las condiciones de adquisición, por ejemplo, radiación superficial del vidrio fundido, emisividad de la superficie, reflejo óptico del ambiente circundante... y, debido a que el vidrio fundido puede ser inhomogéneo en temperatura, la medición puede ser muy imprecisa y podrá variar en función de la zona de adquisición del vidrio fundido. El valor para la densidad puede ser poco confiable y las relaciones del tipo densidad-viscosidad o de tasa de flujo como la ley de Hagen-Poiseuille podrían fallar o arrojar valores no realísticos para la viscosidad de la tasa de flujo.

[0014] Además de estas desventajas, otro inconveniente que presentan las relaciones de viscosidad real-tasa de flujo, en particular las que tienen como base la ley de Hagen-Poiseuille, es que requieren un flujo laminar y viscosidad uniforme y/o una densidad uniforme en un casquillo cuya geometría debe ser simple. Ciertamente, la ley de Hagen-Poiseuille solamente será válida para los fluidos con flujo laminar a través de un tubo o conducto, es decir, fluidos sin superficies libres.

[0015] No obstante, una práctica muy ampliamente utilizada es la de calentar el casquillo mediante el efecto de Joule. Esta operación puede generar gradientes de temperatura espacial y temporalmente dentro del vidrio fundido, lo que a su vez genera variaciones espaciales y temporales de la viscosidad del vidrio fundido. Las modificaciones en el régimen de flujo, por ejemplo, caídas en la presión, del vidrio fundido, pueden ocurrir en la cercanía del casquillo; las relaciones de viscosidad-tasa de flujo no serían pertinentes u ofrecerían valores no realistas para la viscosidad.

[0016] También cabe mencionar que la ley de Hagen-Poiseuille, debido a que requieren un flujo laminar y una viscosidad uniforme y/o una densidad uniforme en un casquillo con una geometría simple, tal como se explicara previamente, no se aplica a los fluidos de flujo libre, es decir, fluidos de corriente con superficies libre que no están unidas por un tubo, conducto, o elemento similar.

[0017] Quizás una de las consecuencias más negativas de los inconvenientes previamente mencionados sea que puede tener como resultado un ajuste incorrecto de la temperatura del vidrio fundido que, a su vez, puede generar daños perniciosos a las herramientas de fabricación. Por ejemplo, un aumento muy grande de la temperatura podría disminuir la vida útil de la herramienta de fabricación.

[0018] Claramente, existe una necesidad de disponer de un procedimiento para medir la viscosidad de una corriente de flujo que, en particular, podría no basarse en una medición de la temperatura del fluido y superar así las limitaciones de la técnica precedente actual, principalmente aquellas con base en las relaciones de densidad-viscosidad o de tasa de flujo

como puede ser la ley de Hagen-Poiseuille. Idealmente, el procedimiento permitiría obtener una medición en línea, rápida y confiable que a su vez se podría utilizar para el ajuste en tiempo real de los procesos de fabricación.

Solución al problema técnico

[0019] En un primer aspecto de la divulgación, se proveen dos procedimientos implementados por computadora alternativos para medir la viscosidad cinemática de una corriente de flujo tal como se describe en la reivindicación 1 y en la reivindicación 2; las reivindicaciones subordinadas consisten en realizaciones beneficiosas.

[0020] En un segundo aspecto de la divulgación, se provee un dispositivo de procesamiento de datos, un programa informático, y un medio legible por computadora para implementar el procedimiento del primer aspecto.

[0021] En un tercer aspecto de la divulgación, se provee un proceso para medir la viscosidad cinemática de una corriente de flujo.

[0022] En un cuarto aspecto de la divulgación, se provee un sistema para medir la viscosidad cinemática de una corriente de flujo.

[0023] El procedimiento, el proceso, el dispositivo de procesamiento de datos, y el sistema de acuerdo con el primer, segundo, tercero, y cuarto aspecto de la divulgación pueden utilizarse en el proceso de fabricación o instalación de fibras de vidrio.

Ventajas de la invención

[0024] Una primera ventaja destacada de la invención es que la viscosidad de una corriente de flujo puede medirse rápidamente sin depender de una medición de la temperatura del flujo mientras se superan las limitaciones de la técnica precedente actual, principalmente aquellas con base en el uso de relaciones de densidad-viscosidad o de tasa de flujo.

[0025] Una segunda ventaja destacada de la invención es que la viscosidad de una corriente de flujo se mide sin contacto. Se permite una supervisión continua de la viscosidad de la corriente de flujo sin que la interrumpa o perturbe, lo que puede ahorrar tiempo y costos en los procesos de fabricación de productos como pueden ser los productos con base de fibra de vidrio.

[0026] Una tercera ventaja de la invención es que puede implementarse fácilmente en las líneas de producción existentes siempre y cuando la configuración de las líneas de producción permita el uso de un dispositivo de grabación de imágenes para adquirir imágenes de la corriente de flujo.

Breve descripción de los dibujos

[0027] La Fig. 1 es una representación esquemática de un ejemplo de línea de producción de fibras de vidrio.

[0028] La Fig. 2 es una representación transversal esquemática de un ejemplo de un casquillo y una herramienta de fibrización a partir de un detalle I de la Fig. 1.

[0029] La Fig. 3 es una representación esquemática de un detalle II de la Fig. 2.

[0030] La Fig. 4 es un diagrama de flujo de datos de un procedimiento implementado por computadora de acuerdo con una realización del primer aspecto de la invención.

[0031] La Fig. 5 es un diagrama de flujo de datos de un procedimiento implementado por computadora de acuerdo con una segunda realización del primer aspecto de la invención.

[0032] La Fig. 6 es un diagrama de flujo de datos de un procedimiento implementado por computadora de acuerdo con una realización del primer aspecto de la invención.

[0033] La Fig. 7 es un gráfico de perfiles geométricos de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , $6,3 \text{ m}^3/\text{día}$, a una sección s_0 de $4,5\text{cm}^2$ y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes.

[0034] La Fig. 8 es un gráfico de perfiles geométricos de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , 8,4 m³/día, a una sección s_0 de 4,5cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes.

[0035] La Fig. 9 es un gráfico de perfiles geométricos de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , 9,6 m³/día, a una sección s_0 de 4,5cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes.

[0036] La Fig. 10 es un gráfico de perfiles geométricos de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , 6,3 m³/día, a una sección s_0 de 8cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes.

[0037] La Fig. 11 es un gráfico de perfiles geométricos de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , 8,4 m³/día, a una sección s_0 de 8cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes.

[0038] La Fig. 12 es un gráfico de perfiles geométricos de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , 9,6 m³/día, a una sección s_0 de 8cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes.

[0039] La Fig. 13 es un gráfico de perfiles de flujo de velocidad de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , 6,3 m³/día, a una sección s_0 de 4,5cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes.

[0040] La Fig. 14 es un gráfico de perfiles de flujo de velocidad de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , 8,4 m³/día, a una sección s_0 de 4,5cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes.

[0041] La Fig. 15 es un gráfico de perfiles de flujo de velocidad de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , 9,6 m³/día, a una sección s_0 de 4,5cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes.

[0042] La Fig. 16 es un gráfico de perfiles de flujo de velocidad de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , 6,3 m³/día, a una sección s_0 de 8cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes.

[0043] La Fig. 17 es un gráfico de perfiles de flujo de velocidad de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , 8,4 m³/día, a una sección s_0 de 8cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes.

[0044] La Fig. 18 es un gráfico de perfiles de flujo de velocidad de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , 9,6 m³/día, a una sección s_0 de 8cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes.

[0045] La Fig. 19 es un gráfico de comparación entre los perfiles de flujo de velocidad de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , 9,6 m³/día, a una sección s_0 de 5,7cm² con datos experimentales de ejemplo.

[0046] La Fig. 20 es un gráfico de comparación entre los perfiles de flujo de velocidad de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , 9,6 m³/día, a una sección s_0 de 5,7cm² con datos experimentales de ejemplo.

[0047] La Fig. 21 es un diagrama de flujo de datos físicos de un sistema de procesamiento de datos para implementar un procedimiento de acuerdo con el primer y/o segundo aspecto de la divulgación.

[0048] La Fig. 22 es una representación esquemática de un sistema para medir la viscosidad cinemática de una corriente de flujo que fluye desde una apertura con aceleración constante.

[0049] La Fig. 23 es un gráfico de perfiles geométricos de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , 6,3 m³/día, a una sección s_0 de 4,5cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614.

[0050] La Fig. 24 es un gráfico de perfiles geométricos de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , $9,3 \text{ m}^3/\text{día}$, a una sección s_0 de 8cm^2 y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614.

[0051] La Fig. 25 es un gráfico de perfiles de flujo de velocidad de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , $6,3 \text{ m}^3/\text{día}$, a una sección s_0 de $4,5\text{cm}^2$ y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes.

[0052] La Fig. 26 es un gráfico de perfiles de flujo de velocidad de una corriente de flujo para una tasa de flujo de volumen de salida de U_0 , $9,6 \text{ m}^3/\text{día}$, a una sección s_0 de 8cm^2 y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes.

Descripción detallada de las realizaciones

[0053] Con referencia a la Fig. 1, una línea de producción 1000 de fibras de vidrio puede comprender generalmente silos 1001 para almacenar materias primas 1001a, por ejemplo, compuestos minerales y/o chatarra de vidrio, un horno de fundición de vidrio 1002 para fundir materias primas 1001a que se transportan desde los silos 1001 mediante una cinta transportadora 1003, y una o más herramientas de fibrización 1005a, 1005b, 1005c, que se introducen con vidrio fundido 1006 a través de un canal de distribución 1004. El canal de distribución generalmente se diseña como un canal abierto o cerrado provisto con aperturas justo encima de cada herramienta de fibrización 1005a, 1005b, 1005c para ingresar cada una de ellas con vidrio fundido 1006.

[0054] Con referencia a la Fig. 2, una apertura 2001 de un canal de distribución 1004 puede proveerse con un casquillo 2002 que en este caso se ejemplifica como una apertura 2002a extendida por una boquilla o bandeja de drenaje 2002b y finalizada con otra apertura 2002c desde la cual fluye el vidrio fundido 1006 como una corriente de flujo 2003 por la gravedad hacia una herramienta de fibrización 1005c ubicada por debajo. La herramienta de fibrización 1005c puede comprender un rotámetro 2004 hecho de un balde 2003a con aperturas laterales y de una pared anular 2004b provista con varios agujeros calibrados. Luego de la rotación a alta velocidad, el vidrio fundido 1006 que sale del casquillo 2002 como corriente de flujo 2003 y que cae en el balde 2004a se proyecta de sus aperturas laterales hacia la superficie interna de la pared anular 2004b, y luego se proyecta a través de los agujeros calibrados para fundir hebras de vidrio 2005.

[0055] La herramienta de fibrización 1005c también puede comprender un quemador de anillo 2006 que arroja una corriente gaseosa o chorro de temperatura elevada en una dirección sustancialmente tangencial a la pared anular para bajar las hebras de vidrio fundido 2005 para así calentar y endurecerlas y formar fibras de vidrio 2007. También puede comprender un dispositivo de soplado de gas 2008 ubicado por debajo del quemador de anillo 2005 para evitar que las fibras de vidrio 2007 se aparten demasiado del eje de rotación del rotámetro 2004.

[0056] Como se ejemplifica en la Fig. 2 y Fig. 3, cuando el vidrio fundido 1006 fluye desde la apertura 2002c del casquillo 2002 por gravedad, fluye libremente como una corriente de flujo libre 2003 con aceleración constante.

[0057] Con referencia a la Fig. 3 y 4, en un primer aspecto de la divulgación, se provee un procedimiento implementado por computadora 4000 para medir la viscosidad cinemática de una corriente de flujo libre 2003 que fluye desde una apertura 2002c con aceleración constante,

en el que el procedimiento 4000 toma como entrada al menos una imagen I4001 de un área A3001 de interés de una corriente de flujo 2003, la sección, s_0 , de la apertura 2002c y la tasa de flujo de volumen de salida, U_0 , de la corriente de flujo 2003 desde la apertura 2002c;

en el que el procedimiento 4000 provee como salida la viscosidad cinemática, η , del flujo;

en el que el procedimiento 4000 comprende las siguientes etapas:

(a) modelar S4001 el perfil geométrico GP de la corriente de flujo 2003 a través de una operación de procesamiento digital de la imagen de entrada I4001;

(b) calcular S4002 la viscosidad cinemática del flujo con un modelo matemático o físico del perfil geométrico modelado GP, la sección, s_0 , y la tasa de flujo de volumen de salida, U_0 .

[0058] En el contexto de la divulgación, se entiende que una corriente de flujo libre es un flujo de corriente libre, es decir, como un flujo de corriente con superficies libres que no están unidas por superficies externas como las de un tubo, conducto, o elementos similares.

[0059] En el contexto de la divulgación, el perfil geométrico GP se entiende como toda medición dimensional que es representativa o permite derivar la variación de las dimensiones geométricas, por ejemplo, grosor, sección, diámetro... de la corriente de flujo 2003 en la dirección del flujo.

[0060] En una realización de ejemplo, como se ilustra mediante la referencia del eje X, Z en la Fig. 3, en un caso de una corriente de flujo con una sección circular, el perfil geométrico puede ser la variación de la sección, el diámetro o el radio en la dirección X a lo largo de la dirección de flujo Z. El origen del eje X, Z puede ser la apertura 2002c.

[0061] Puede pasar que, debido, por ejemplo, a que la radiación de la corriente de flujo 2003, por ejemplo, una corriente de flujo de vidrio mineral fundido de alta temperatura, o los ambientes circundantes industriales de la apertura 2002c, al menos una imagen de entrada I4001 se dañe o estropee debido a la alta presencia de ruido que no permite obtener un modelado preciso del perfil geométrico GP.

[0062] En lugar de medir el modelado del perfil geométrico GP, puede ser beneficioso modelar la velocidad de flujo de la corriente de flujo 2003, es decir, las velocidades de la corriente de flujo en ubicaciones separadas de la corriente de flujo a lo largo de la dirección de flujo, por ejemplo, a lo largo de la dirección Z en la Fig. 3, lo que puede ayudar a superar la limitación de una imagen de entrada muy ruidosa I4001.

[0063] Por lo tanto, en las realizaciones beneficiosas alternativas, con referencia a la Fig. 3, Fig. 4 y Fig. 5, el procedimiento 5000 puede tomar como entrada una primera imagen I4001 de un área A3001 de interés de una corriente de flujo 2003, la sección, s_0 , de la apertura 2002c y la tasa de flujo de volumen de salida, U_0 , de la corriente de flujo 2003 de la apertura 2002c, una segunda imagen con modificación de tiempo I5001 de al menos dos características F3001, F3002 de la corriente de flujo 2003, en la que las características F3001, F3002 están presentes en la primera imagen I4001 provistas como entrada;

en el que el procedimiento 5000 provee una salida para la viscosidad cinemática, η , del flujo;

en el que el procedimiento 5000 comprende las siguientes etapas:

- procesamiento digital S5001 de la primera y segunda imagen I4001, I5001 para medir el desplazamiento de las características F3001, F3002;
- calcular S5002 las velocidades, V_1 , V_2 , de cada una de las características F3001, F3002 de la medición del desplazamiento sobre el cambio de tiempo entre la primera y segunda imagen I4001, I5001; y
- calcular S4002 la viscosidad cinemática del flujo con un modelo matemático o físico a partir de las velocidades, V_1 , V_2 , la sección, s_0 , y la tasa de flujo de volumen de salida, U_0 .

[0064] Las velocidades, V_1 , V_2 de las características F3001, F3002, pueden observarse como dos diferentes mediciones de la velocidad de flujo, FV , de la corriente de flujo. En la etapa de cálculo S4002, cada una de estas dos velocidades, V_1 , V_2 , - pueden utilizarse independientemente para calcular el valor de la velocidad cinemática. Este enfoque, en particular cuando se calculan varias velocidades a partir de varias características dentro de la corriente de flujo, pueden proveer de forma beneficiosa mejor precisión al medir la viscosidad.

[0065] De manera beneficiosa, a mayor cantidad de velocidades calculadas para la velocidad de flujo FV , mejor será la precisión del procedimiento. Por lo tanto, se pueden calcular las velocidades de varias características, por ejemplo, al menos 10 características, preferentemente al menos 50 características, más preferentemente al menos 100 características. El cálculo puede llevarse a cabo con muchas más imágenes de entrada que las dos imágenes de entrada I4001, I5001.

[0066] Las características F3001, F3002 o las varias características de la corriente de flujo 2003 pueden ser cualquier característica de la corriente de flujo 2003 que se mueve con la corriente

de flujo 2003 y muestra cierta persistencia entre la primera y segunda imagen I4001, I5001 para que su desplazamiento en el tiempo se pueda medir y, de esta manera, su velocidad.

[0067] En ciertas realizaciones, al menos dos características F3001, F3002 pueden ser un defecto dentro de la corriente de flujo 2003. Por ejemplo, para el vidrio fundido, los defectos pueden ser burbujas, partículas sin fundir, por ejemplo, piedras refractarias o materias primas no fundidas, u otras heterogeneidades. Los defectos pueden estar en la superficie de la corriente de flujo o dentro de la masa. Para el vidrio fundido transparente, los defectos dentro de la masa son de fácil detección debido a su transparencia.

[0068] La corriente de flujo 2003 a veces puede mostrar una calidad homogénea y libre de todo defecto visible. Los defectos artificiales pueden introducirse corriente arriba, por ejemplo, con dispositivo de burbujeo en el canal de distribución para vidrio fundido, o partículas sólidas.

[0069] La sección, s_0 , de la apertura 2002c, puede proveerse como un valor independiente de las especificaciones técnicas de la apertura 2002c, o puede medirse directamente a través de un procesamiento de imágenes de la primera imagen I4001 del área A3001.

[0070] La tasa de flujo de volumen de salida, U_0 , provista como entrada puede medirse independientemente del procedimiento según el primer aspecto de la invención. Por ejemplo, puede medirse automáticamente con caudalímetros dedicados ubicados justo debajo de la apertura 2002c, por ejemplo, con procedimiento y aparato como se describe en WO 8304437 A1 [GULLFIBER AB [SE]] 22.12.1983 siempre y cuando la sección de la corriente de flujo 3001 se pueda conocer o medir. También puede medirse manualmente a partir de muestreos cronometrados.

[0071] Como alternativa, o complemento, el procedimiento de acuerdo con el primer aspecto de la divulgación también se puede adaptar para medir la tasa de flujo de volumen de salida, U_0 . Por lo tanto, en una realización, con referencia a la Fig. 3, Fig. 4, y Fig. 6, el procedimiento 6000 además puede tomar como entrada una segunda imagen con modificación de tiempo I6001 de al menos una característica F3001 de la corriente de flujo 2003, en la que la característica F3001 está presente en la primera imagen I4001 provista como entrada, y en la que la tasa de flujo de volumen de salida, U_0 , de la corriente de flujo 2003 de la apertura 2002c se calcula luego de la etapa de modelado S4001 con las siguientes etapas:

- procesamiento digital S6001 de la primera y segunda imagen I4001, I6001 para medir el desplazamiento de la característica F3001;
- calcular S6002 la velocidad, V , de la característica F3002 de la medición del desplazamiento sobre el cambio de tiempo entre la primera y segunda imagen I4001, I6001; y
- calcular S6003 la tasa de flujo de salida, U_0 , al multiplicar la velocidad computada, V , por la sección, s_1 , sección del perfil geométrico modelado GP de la corriente de flujo 3001 en la ubicación de la característica F3001 en la primera imagen I6001.

[0072] Como ilustración, en referencia a la Fig. 3, la sección, s_0 , de la apertura (2002c), es fija. No obstante, la sección, s , de la corriente de flujo 2003, varía en la dirección Z en función de la ubicación de la característica F3001 dentro de la corriente de flujo 2003 en la dirección Z. De esta manera, la sección, s_1 , del perfil geométrico modelado de la corriente de flujo 2003 variará como corresponda.

[0073] En ciertas realizaciones, para mejorar la precisión de la medición, la tasa de flujo de volumen de salida, U_0 , puede calcularse con varias características de la corriente de flujo 2003 para calcular una tasa de flujo de volumen de salida media, U_{mean} . El cálculo puede llevarse a cabo con muchas más imágenes de entrada que las dos imágenes de entrada I4001, I6001.

[0074] Puede destacarse que, de acuerdo con la ley de conservación de la masa, la tasa de flujo de masa de salida no varíe en la dirección descendente, es decir, la dirección Z, de la corriente de flujo 2003 en condiciones estacionarias. Por lo tanto, en condiciones estacionarias, que ocurren en la mayoría de los casos, siempre y cuando la temperatura, y a su vez la densidad, no varíen o al menos varíen hasta cierto punto limitado e insignificante, la tasa de flujo de volumen de salida calculada, U_{mean} , es una medida representativa de la tasa de flujo de volumen de salida real, U_0 , de la corriente de flujo 2003 desde la apertura 2002c.

[0075] La característica F3001 puede ser de la misma naturaleza que las mencionadas previamente en el contexto de las realizaciones alternativas de la Fig. 5. Además, cuando se implementan las realizaciones alternativas de la Fig. 5, las etapas S6001 y S6002 pueden reemplazarse de forma beneficiosa por las etapas S5001 y S5002 ya que también permiten calcular velocidades de características de la corriente de flujo. La imagen de entrada I6001 puede reemplazarse por la imagen de entrada I5001, lo que puede limitar las etapas redundantes y ahorrar tiempo.

[0076] El área A3001 de interés puede ser cualquier área de la corriente de flujo 2003. Debido a la aceleración constante, la corriente de flujo 2003 se puede volver más delgada con distancia desde la apertura 2002c. De esta manera, puede ser beneficioso que la corriente de flujo 2003 muestre cierto grosor para que la operación de procesamiento digital de las etapas S4001, S5001, S6001 funcione eficientemente sobre la imagen de entrada I4001, I5001, I6001. La imagen de las áreas más delgadas de la corriente de flujo 2003, por ejemplo, el área más baja de la corriente de flujo, deberá entonces evitarse. Prácticamente, el área A3001 de interés puede extenderse desde la apertura 2002c a una longitud dos veces, preferentemente tres veces, el diámetro de la apertura 2002c. El grosor de la corriente de flujo en la imagen de entrada I4001, I5001, I6001 puede ser lo suficientemente grande entonces para la operación de procesamiento digital.

[0077] En el paso de modelado S4001, el perfil geométrico GP puede calcularse con cualquier algoritmo de detección de borde adaptado para procesamiento de imágenes, por ejemplo, algoritmo de cuadrados marchantes, detector de borde de Canny, umbralización, operadores de borde con base en filtros Prewitt, Sobel, o Scharr.

[0078] En las etapas de cálculo S4002, de acuerdo con ciertas realizaciones, el modelo matemático o físico puede ser de relaciones experimentales y/o simuladas, por ejemplo, cuadros, entre ciertos perfiles geométricos para una corriente de flujo, su tasa de flujo de volumen de salida, su viscosidad, y la sección de la apertura.

[0079] Como realizaciones de ejemplo, las tablas pueden derivarse de experimentos más tempranos en los que un fluido sustituto, por ejemplo, aceite frío, cuya viscosidad cinemática puede cambiarse fácilmente, se vuelve flujo como corriente con aceleración constante a través de aperturas con diferentes secciones a diferentes tasas de volumen de flujo. La viscosidad cinemática puede cambiarse al variar la temperatura del fluido o de su composición, por ejemplo, al diluirlo en agua. Las imágenes adquiridas de varios ensayos llevados a cabo con diferentes valores para la viscosidad cinemática, la sección de apertura y la tasa de flujo de volumen pueden permitir la construcción de tablas en las que un valor de viscosidad cinemática corresponde a un perfil geométrico específico, una tasa de flujo de volumen específico, y una sección de apertura específica. Los datos de las tablas pueden ser datos experimentales o un modelo derivado de datos experimentales.

[0080] Las tablas de ejemplo se proveen en las Fig. 7 a 18 para diferentes valores de la sección s_0 de la apertura 2002c, diferentes valores de la tasa de flujo de volumen de salida U_0 , y diferentes valores de viscosidad cinemática.

[0081] De la Fig. 7 a la Fig. 12 se muestran perfiles geométricos de una corriente de flujo circular representada como una evolución de su radio R en la dirección de flujo Z . La Fig. 7 a la Fig. 9 representan esta evolución para tres valores de tasa de flujo de volumen de salida U_0 , 6,3 m³/día, 8,4 m³/día, y 9,6 m³/día a una sección s_0 de 4,5 cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes (cm²/s). La Fig. 10 a la Fig. 12 representan esta evolución para tres valores de la tasa de flujo de volumen de salida U_0 , 6,3 m³/día, 8,4 m³/día, y 9,6 m³/día a una sección s_0 de 8,0 cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes (cm²/s).

[0082] En las Fig. 13 a la Fig. 18 se muestra la evolución de la velocidad de flujo FV de una corriente de flujo en la dirección de flujo Z . De la Fig. 13 a 15 se representa esta evolución para tres valores de tasa de flujo de volumen de salida U_0 , 6,3 m³/día, 8,4 m³/día, y 9,6 m³/día a una sección s_0 de 4,5 cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes (cm²/s). La Fig. 16 a la Fig. 18 representan esta evolución para tres valores de la tasa de flujo de volumen de salida U_0 , 6,3 m³/día, 8,4 m³/día, y 9,6 m³/día a una sección s_0 de 8,0 cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes (cm²/s).

[0083] De la Fig. 7 a la Fig. 18, el origen para la dirección de flujo Z es la salida de la apertura 2002c.

[0084] Los valores de la sección s_0 de la apertura 2002c, los valores de la tasa de flujo de volumen de salida U_0 , los valores de viscosidad cinemática, los perfiles geométricos y los perfiles de velocidad de flujo provistos en la Fig. 7 a Fig. 18 son representativos de condiciones industriales reales, en particular de una corriente de flujo de vidrio fundido para las fibras de vidrio fabricadas para lana de vidrio o piedra. Una persona versada en la técnica podría entonces usar directamente estas tablas para descifrar la viscosidad cinemática de corriente de flujo de vidrio fundido que cae en una herramienta de fibrización. De ser necesario, pueden extrapolarse valores intermedios a partir de los datos de la Fig. 7 a Fig. 18.

[0085] Como ejemplos, la Fig. 19 y la Fig. 20 proveen respectivamente una comparación de diferente flujo de velocidad, FV, y perfiles geométricos, es decir, radio R de una corriente de flujo de vidrio fundido con datos experimentales adquiridos en condiciones industriales para una tasa de flujo de volumen de salida U_0 , 9,6 m³/día, a una sección s_0 de 5,7 cm². La Fig. 10 y la Fig. 20 muestran el acuerdo casi perfecto entre los perfiles modelados y los datos experimentales, y demuestran que las tablas de acuerdo con la divulgación permiten obtener una medición precisa y exacta de la viscosidad cinemática en una corriente de flujo en condiciones o ambientes industriales.

[0086] Como otra alternativa o realizaciones de ejemplo complementarias, el modelo matemático o físico puede ser una resolución numérica de la ecuación de Navier-Stokes aplicada a una corriente de caída libre o flujo para diferentes condiciones, por ejemplo, para diferentes valores de la viscosidad cinemática, la sección de apertura, y la tasa de flujo de volumen. Las relaciones entre la viscosidad cinemática, la sección de apertura, y la tasa de flujo de volumen pueden simularse como perfiles geométricos o perfil de velocidad de flujo y, por ejemplo, representarse como tablas en las que un valor de viscosidad cinemática específico corresponde a un perfil geométrico específico o perfil de velocidad de flujo, una tasa de flujo de volumen específica y una sección de apertura específica. Como alternativa, las ecuaciones de Navier-Stokes pueden usarse como una función matemática para ajustar, o modelar, un perfil geométrico o perfil de velocidad de flujo de la corriente de flujo.

[0087] Como un ejemplo ilustrativo, en referencia a la Fig. 2 y la Fig. 3, la ecuación de Navier-Stokes aplicada a una corriente de caída libre 2003 de flujo desde una apertura 2002c puede escribirse como figura a continuación:

$$\frac{dFV}{dZ} - 3v \frac{d}{dZ} \left(\frac{1}{FV} \frac{dFV}{dZ} \right) = \frac{g}{FV}$$

[0088] En la que v es la viscosidad cinética, s_0 es la sección de la apertura (2002c), FV es la velocidad de la corriente de flujo (2003), g es la constante de aceleración y z es la coordenada en la dirección de flujo Z desde la apertura 2003, es decir, la dirección vertical de la apertura.

[0089] Para resolver matemáticamente la ecuación previa, se deben utilizar dos condiciones de limitación:

(1) $FV = \frac{U_0}{s_0}$

[0090] (2) la presión viscosa al final de la corriente de flujo puede abandonarse, es decir, $v \frac{dFV}{dZ} = 0$;

[0091] La ecuación puede resolverse numéricamente para diferentes valores de la viscosidad cinética, v , de la sección, s_0 , de la apertura 2002c, y de la tasa de flujo de volumen de salida, U_0 , con el uso de un solucionador para resolver los problemas de valores de limitación, por ejemplo, el solucionador `bvp_resolver` del paquete SciPy Python.

[0092] De la Fig. 23 a la 24 se muestra la evolución de la velocidad de flujo FV de una corriente de flujo en la dirección de flujo Z tal como se debe obtener a partir de la resolución numérica. La Fig. 23 representa esta evolución para la tasa de flujo de volumen de salida, U_0 , 6,3 m³/día con una sección s_0 de 4,5 cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes

(cm²/s). La Fig. 24 representa esta evolución para tres valores de tasa de flujo de volumen de salida, U_0 , 9,6 m³/día, con una sección s_0 de 8,0 cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes (cm²/s).

[0093] Las Fig. 25 a 26 muestran los mismos perfiles geométricos de una corriente de flujo circular representados como una evolución de su radio R en la dirección de flujo Z , tal como se pueden obtener de la misma resolución numérica. La Fig. 25 representa esta evolución para tres valores de tasa de flujo de volumen de salida U_0 , 6,3 m³/día, con una sección s_0 de 4,5 cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes (cm²/s). La Fig. 26 representa esta evolución para tres valores de la tasa de flujo de volumen de salida U_0 , 9,6 m³/día, con una sección s_0 de 8,0 cm² y para valores de viscosidad cinemática que varían de 87 a 614 Stokes (cm²/s).

[0094] En las Fig. 23 a Fig. 26, el origen para la dirección de flujo Z es la salida de la apertura 2002c.

[0095] En el contexto de la divulgación, la sección de la apertura 2002c puede tener cualquier forma geométrica que permita a una corriente de flujo 2003 fluir a través de ella. En ciertas realizaciones, la sección de la apertura 2002c y de la corriente de flujo 2003 puede ser circular, ya que esta configuración geométrica corresponde a casos en líneas industriales actuales. La sección de la apertura 2002c puede calcularse entonces a partir de su diámetro.

[0096] En realizaciones preferidas, la corriente de flujo 2003 es una corriente de vidrio mineral fundido.

[0097] En un segundo aspecto de la divulgación, con referencia a la Fig. 21, se provee un sistema de procesamiento de datos 21000 que comprende medios 21001 para llevar a cabo un procedimiento 4000, 5000, 6000 de acuerdo con cualquiera de las realizaciones del primer aspecto de la invención, y un programa informático I21001 que comprende instrucciones que, al ser ejecutadas por una computadora, hacen que la computadora lleve a cabo un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las realizaciones del primer aspecto de la invención.

[0098] El sistema de procesamiento de datos 21000 comprende medios 21001 para llevar a cabo un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las realizaciones del primer aspecto de la invención. Un ejemplo de medios 21001 puede ser un dispositivo al cual se le puede instruir que lleve a cabo secuencias de operaciones aritméticas o lógicas automáticamente para ejecutar tareas o acciones. Este dispositivo, también denominado computadora, puede comprender una o más Unidades Centrales de Procesamiento (CPU) y al menos un dispositivo controlador que se adapten para llevar a cabo esas operaciones.

[0099] Además, puede comprender otros componentes electrónicos como interfaces de entrada/salida 21003, dispositivos de almacenamiento no volátiles o volátiles 21002, y buses que son sistemas de comunicación para la transferencia de datos entre los componentes dentro de una computadora, o entre computadoras. Uno de los dispositivos de entrada/salida puede ser una interfaz del usuario para la interacción humano-máquina, por ejemplo, interfaz de usuario gráfica para mostrar información que un ser humano pueda entender.

[00100] Debido a que los cálculos pueden requerir una gran cantidad de energía computacional para procesar cantidades sustanciales de datos, el sistema de procesamiento de datos puede comprender de manera beneficiosa una o más Unidades Gráficas de Procesamiento (GPU) cuya estructura paralela las hace más eficiente que una CPU, en particular para el procesamiento de imágenes.

[00101] El programa informático I21001 puede estar escrito en cualquier tipo de lenguaje de programación, ya sea compilado o interpretado, para implementar las etapas del procedimiento de acuerdo con cualquier realización del primer aspecto de la invención. El programa informático I21001 puede ser parte de una solución de software, es decir, parte de una colección de instrucciones ejecutables, código, secuencia de comandos, o similares, y/o bases de datos.

[00102] En ciertas realizaciones, también se puede proveer un almacenamiento legible por computadora o medio 21002 que comprenda instrucciones que, al ser ejecutadas por una computadora, hacen que la computadora lleve a cabo el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las realizaciones del primer aspecto de la invención.

[00103] El almacenamiento legible por computadora 21002 puede ser preferentemente un almacenamiento o memoria no volátil y no transitoria, por ejemplo, una unidad de disco duro o disco en estado sólido. El almacenamiento legible por computadora puede ser un medio de almacenamiento removible o un medio de almacenamiento no removible como parte de una computadora.

[00104] Como alternativa, el almacenamiento legible por computadora puede ser una memoria volátil dentro de un medio removible.

[00105] El almacenamiento legible por computadora 21002 puede ser parte de una computadora que se utiliza como un servidor desde el cual se pueden descargar instrucciones ejecutables y, cuando son ejecutadas por una computadora, hacen que la computadora lleve a cabo un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las realizaciones descritas en el presente documento.

[00106] Como alternativa, el programa I21001 puede implementarse en un ambiente de cálculo distribuido, por ejemplo, cálculo por nube. Las instrucciones pueden ejecutarse en el servidor al que se conectan las computadoras del cliente y proveen datos decodificados como entradas al procedimiento. Una vez procesados los datos, el resultado se puede descargar y decodificar en la computadora del cliente o enviarse directamente, por ejemplo, como instrucciones. Esta clase de implementación puede ser beneficiosa ya que puede llevarse a cabo en un ambiente de cálculo distribuido como puede ser una solución de cálculo por nube.

[00107] En un tercer aspecto de la divulgación, con referencia a la Fig. 3, la Fig. 21 y la Fig. 22, se provee un proceso para medir la viscosidad cinemática, η , de una corriente de flujo 2003 que fluye desde una apertura 2002c con aceleración constante,

en el que el proceso comprende las siguientes etapas:

(a) adquirir, con un dispositivo de registro de imágenes 22001, al menos una imagen de un área A3001 de interés de una corriente de flujo 3001;

(b) modelar, con un medio de procesamiento de datos 21000, el perfil geométrico de la corriente de flujo a través de una operación de procesamiento digital de la imagen adquirida;

(c) calcular, con un medio de procesamiento de datos 21000, la viscosidad cinemática, η , del flujo con un modelo matemático o físico del perfil geométrico modelado, la sección, s_0 , de la apertura y la tasa de flujo de volumen, U_0 , de la corriente de flujo 3001.

[00108] Todas las realizaciones descritas sucesivamente en el contexto del primer aspecto de la invención pueden aplicarse al proceso de acuerdo con el tercer aspecto de la invención. Más precisamente, todas las realizaciones en el procedimiento 4000, 5000 pueden adaptarse en el proceso, en particular en relación con las etapas (b) y (c) del proceso.

[00109] En un cuarto aspecto de la divulgación, con referencia a la Fig. 3, la Fig. 21 y la Fig. 22, se provee un sistema 22000 para medir la viscosidad cinemática, η , de una corriente de flujo 2003 que fluye desde una apertura 2002c con aceleración constante, en el que el sistema comprende los siguientes elementos:

- un dispositivo de registro de imágenes 22001 configurado para adquirir al menos una imagen de un área A3001 de interés de una corriente de flujo 2003;

- un dispositivo de procesamiento de datos 21000 de acuerdo con el segundo aspecto de la divulgación y configurado para recibir imágenes del dispositivo de registro de imágenes 22001.

[00110] En ciertas realizaciones, el dispositivo de registro de imágenes 22001 puede ser una cámara digital, por ejemplo, una cámara digital CCD o CMOS. La resolución de imagen del dispositivo de registro de imágenes puede depender de la precisión deseada para medir la viscosidad cinemática. Generalmente, a menor grosor de flujo de corriente 2003, mayor será la resolución de imagen.

[00111] En realizaciones beneficiosas, la resolución de imagen de la cámara digital es la adecuada para que la resolución de grosor de la imagen adquirida del área A3001 de interés de una corriente de flujo 2003 sea de al menos 200 píxeles/cm, preferentemente al menos 400

píxeles/cm. Estas realizaciones pueden ser las apropiadas para la mayoría de los requisitos previos de las líneas de producción actuales.

[00112] En realizaciones preferidas, la cámara digital además puede ser una cámara digital de alta velocidad, por ejemplo, una cámara digital de alta velocidad con una frecuencia de cuadros de al menos 50 cuadros por segundo (fps), preferentemente al menos 100 fps. Pueden ser beneficiosas las frecuencias de cuadros más altas para adquirir secuencias de imágenes que pueden de ahí en más ingresarse al dispositivo de procesamiento de datos 21000. El dispositivo de procesamiento de datos 21000 entonces también se puede configurar para calcular la imagen media o promedio del área A3001 de interés de la corriente de flujo 2003 a partir de la imagen de dicha secuencia. La imagen media entonces podrá utilizarse para modelar el perfil geométrico GP con mejor precisión y exactitud.

[00113] Las frecuencias de cuadros altas también pueden ser beneficiosas para calcular la tasa de flujo de volumen de salida, U_0 , a partir de imágenes de una característica o varias características como se describe sucesivamente en el contexto del primer aspecto de la invención.

[00114] Como se ilustra en la Fig. 22, el dispositivo de registro de imágenes 22001 puede orientarse perpendicularmente a la dirección de flujo de la corriente de flujo 2003. En ciertas realizaciones, el dispositivo de registro de imágenes 22001 puede orientarse o inclinarse con un cierto ángulo desde la dirección de flujo cuando no hay espacio suficiente en la proximidad de la apertura 2002c y la corriente de flujo para que un dispositivo de registro de imágenes 22001 se ubique perpendicularmente a la dirección de flujo, debido a que puede ocurrir en un ambiente industrial. El ángulo de inclinación puede considerarse al procesar las imágenes adquiridas para corregir la deformación óptica inducida dentro de las imágenes.

[00115] La distancia a la que se puede ubicar el dispositivo de registro de imágenes 22001 desde la corriente de flujo 2003 dependerá de la longitud focal, por ejemplo, de 50 cm a 1 m, del dispositivo. En ciertas realizaciones, en función de la temperatura de la corriente de flujo 2003, y/o su radiación de calor, el dispositivo de registro de imágenes puede ubicarse a una distancia mayor de la corriente de flujo para proteger a sus partes electrónicas del calor. También se puede ubicar una protección térmica alrededor de la cámara.

[00116] El proceso, el dispositivo de procesamiento de datos y el sistema de acuerdo con el segundo, tercer y cuarto aspecto de la divulgación pueden utilizarse de forma beneficiosa en una línea de producción de fibras de vidrio para supervisar la viscosidad cinemática de un vidrio fundido 1006 que fluye a través de un casquillo 2002 por la gravedad. La línea de producción puede comprender cualquier tipo de herramienta de fibrización, por ejemplo, herramientas de fibrización que comprendan un rotámetro como se describiera previamente o que comprendan un rotámetro cerrado inferior.

[00117] En otras realizaciones, la viscosidad supervisada puede implementarse en una operación de retroalimentación para ajustar la temperatura del vidrio fundido 1006 en la cercanía del casquillo 2002.

[00118] En este contexto, en ciertas realizaciones, el sistema 22000 además podrá comprender un dispositivo controlador configurado para establecer o modificar uno o varios parámetros de uno o varios componentes de la línea de producción que puedan ejercer una acción en la temperatura del vidrio fundido. En algunas realizaciones de ejemplo, cuando la viscosidad cinemática sale de un valor de punto establecido, el dispositivo controlador puede actuar en los dispositivos de enfriamiento y/o calentamiento relacionados con un canal de distribución 1004 para aumentar o disminuir la temperatura del vidrio fundido antes de un casquillo 2002. En otras realizaciones de ejemplo, el dispositivo controlador puede enviar una señal visual a un dispositivo de visualización para alertar a un operador humano para que ajuste la química del vidrio fundido.

[00119] Una persona versada en la técnica podrá combinar todas las realizaciones descritas en el presente documento, ya sea si pertenecen al primer, segundo, tercer o cuarto aspecto de la invención, a menos que le parezcan incompatibles desde el punto de vista técnico.

[00120] Además, a pesar de que la invención se ha descrito en relación con las realizaciones preferidas, deberá entenderse que se pueden realizar varias modificaciones, agregados, y alteraciones a la invención por parte de una persona versada en la técnica sin salirse del espíritu y alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones.