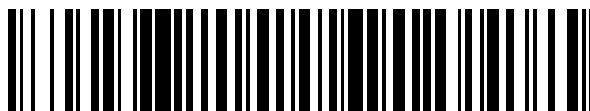


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 829 261**

51 Int. Cl.:

F25C 5/00 (2008.01)

B08B 9/032 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2017** **E 17305736 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.08.2020** **EP 3415843**

54 Título: **Método y aparato para producir y almacenar hielo pastoso fluido, especialmente para la limpieza Pigging de hielo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.05.2021

73 Titular/es:

SUEZ GROUPE (100.0%)
Tour CB21, 16 place de l'Iris
92040 Paris la Défense Cedex, FR

72 Inventor/es:

AINSLIE, ERIC ALLAN;
ASH, DOMINIC GEORGE IAN;
DEANS, TIMOTHY JOHN y
HERBERT, MARTIN

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 829 261 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

Método y aparato para producir y almacenar hielo pastoso fluido, especialmente para la limpieza Pigging de hielo

5 La presente invención se refiere a sistemas para producir hielo pastoso de hielo de agua u otras partículas congeladas como se usa, por ejemplo, en la limpieza Pigging de hielo.

En esta memoria descriptiva, un hielo pastoso o lechada es una mezcla de partículas líquidas y sólidas producidas congelando parcialmente el líquido, y un líquido se toma para incluir, por ejemplo, geles fluidos y productos tixotrópicos.

Las lechadas congeladas fluidas, a menudo, pero no necesariamente de hielo de agua, se utilizan para diversos fines, incluido, por ejemplo, para enfriar productos alimentarios, para almacenar energía en sistemas de acondicionamiento de aire, en tratamientos médicos y en la limpieza Pigging de hielo en la que un hielo pastoso se obliga a pasar a presión a través de una tubería para eliminar la contaminación. Por lo general, un depresor del punto de congelación (por ejemplo, sal, azúcar, ácido cítrico, o cualquier otra sustancia adecuada) se añade al agua u otro líquido antes de la congelación; el depresor del punto de congelación se concentra en la fracción líquida restante a medida que aumenta la fracción sólida, deprimiendo el punto de congelación de la fracción líquida restante. Esto asegura que el hielo pastoso retenga una fracción líquida y, así, permanezca fluida a través de un amplio intervalo de temperaturas.

Cuando el hielo pastoso se va a utilizar para la limpieza Pigging de una tubería utilizada para transportar un producto líquido, por ejemplo, un producto alimentario, se puede producir congelando un nuevo lote del producto para evitar la necesidad de una limpieza adicional después de la operación de limpieza Pigging.

La eficacia de un hielo pastoso utilizado para la limpieza Pigging de hielo depende en gran medida de su fracción sólida. Con el fin de formar un tapón que tenga suficiente cizallamiento de pared para ejercer una acción de limpieza en la pared de la tubería mientras se adapta a geometrías de trayectoria de flujo complejas, un hielo pastoso para usar en la limpieza Pigging de hielo generalmente tendrá una fracción sólida sustancialmente más alta que un hielo pastoso que fluye libremente como se usa comúnmente para almacenamiento térmico, procesamiento de alimentos u otras aplicaciones. Se conocen varias técnicas para producir un hielo pastoso, incluidas los intercambiadores de calor de superficie raspada en los que un líquido se congela parcialmente por contacto con una superficie enfriada antes de eliminar los cristales de hielo raspando la superficie. En la Figura 1 se muestra a modo de ejemplo un intercambiador de calor de superficie raspada conocido, adecuado para su uso en la producción de un hielo pastoso de hielo de agua para su uso en la limpieza Pigging de hielo.

Los documentos WO 2015/063094 A1 y WO 2012/122594 A1 describen una máquina para enfriar y remover simultáneamente un producto alimentario y una máquina para hacer helados, respectivamente.

40 En la Universidad de Bristol, se ha llevado a cabo una amplia investigación sobre la limpieza Pigging de hielo, resultando en un trabajo publicado que incluye Ainslie, E.A. Ice Pigging en la industria del agua. Diciembre de 2010. D. Ing. Tesis, Universidad de Bristol. (Disponible en <http://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.573410>) Ainslie (2010) describe el uso de hielo pastoso de hielo de agua en la limpieza Pigging de hielo de las tuberías de distribución de agua, y en las págs. 209 - 230 da detalles de un sistema de almacenamiento y producción de hielo pastoso adecuado para este fin.

Se sabe que las características de flujo de un hielo pastoso dependen no solo de su fracción sólida sino también de la forma y tamaño de las partículas sólidas, y cambiarán con el tiempo a medida que se desarrollan cristales de hielo y las partículas sólidas se funden o aglomeran. Si se deja que el hielo pastoso permanezca quieto, la fracción sólida restante se solidificará gradualmente en una masa rígida.

Cuando se va a almacenar un hielo pastoso en un tanque durante un período de tiempo antes de su uso, es, por tanto, habitual proporcionar un agitador que mezcle continuamente el hielo pastoso almacenado para mantenerlo en una condición fluida u homogénea. La fracción sólida se puede estimar midiendo el consumo de energía o la reacción de par del agitador.

Sin embargo, "Intentar predecir el comportamiento general de un régimen de mezcla dado es particularmente difícil" (Ainslie (2010), pág. 32). En la práctica, por tanto, a pesar de la presencia del agitador, y para asegurar que el hielo pastoso tenga el tamaño de partícula requerido, así como la viscosidad general y la fracción sólida, se considera necesario rejuvenecer periódicamente el hielo pastoso almacenado triturando las partículas sólidas y eliminando el líquido excedente en un ciclo de tratamiento cronometrado antes de devolverlo al tanque. Puesto que la trituración tiende a acelerar el deshielo, el ciclo de tratamiento debe repetirse con frecuencia.

A modo de ejemplo, la máquina de limpieza Pigging de hielo AQL500, disponible por SUEZ Advanced Solutions UK de Bristol, Reino Unido (www.ice-pigging.com) incorpora un generador de hielo pastoso con un intercambiador de calor de superficie raspada y un tanque de almacenamiento para contener el hielo pastoso hasta que sea necesario

para la limpieza Pigging. El siguiente vídeo desvela esta máquina de limpieza Pigging: Película de South West: "Máquina de limpieza Pigging de hielo Suez AQL500", Youtube, 15 de febrero de 2016 (15-02-2016), URL: <https://www.youtube.com/watch?v=pyL5osRmoKM>. La máquina está preparada para agitar el hielo pastoso almacenado en el tanque y periódicamente hacerlo circular a través de una trayectoria de flujo en un ciclo de tratamiento que lo rejuvenece antes de devolverlo al tanque. El ciclo de tratamiento incluye una bomba de alto cizallamiento que tritura las partículas sólidas y un separador que separa una porción del líquido contenido en el hielo pastoso y lo devuelve al intercambiador de calor en el que se vuelve a congelar y se devuelve como hielo pastoso nuevo al tanque.

Un diagrama simplificado de tuberías e instrumentación de la máquina de limpieza Pigging de hielo AQL500 se reproduce en dos partes complementarias en las Figuras 2A - 2B.

En vista de la dificultad de mantener las características de flujo de una lechada almacenada, un objeto general de la presente invención es proporcionar un método y aparato con un régimen de almacenamiento más satisfactorio para producir un hielo pastoso fluido de partículas congeladas y almacenar el hielo pastoso antes de su uso, especialmente para la limpieza Pigging de hielo.

Por consiguiente, en sus diversos aspectos, la presente invención proporciona un método y un aparato para producir una mezcla fluida de partículas congeladas como se define en las reivindicaciones. El nuevo aparato incluye un medio de enfriamiento para congelar parcialmente un líquido para formar el hielo pastoso fluido, un tanque para almacenar el hielo pastoso fluido, un agitador motorizado para agitar el hielo pastoso fluido dentro del tanque, un separador para separar una porción del líquido que queda en el hielo pastoso fluido almacenado en el tanque de las partículas congeladas en una fase de separación de un ciclo de tratamiento, y un medio de trituración para triturar las partículas congeladas en el hielo pastoso fluido almacenado en el tanque en un fase de trituración del ciclo de tratamiento. El ciclo de tratamiento está controlado por un sistema de control que detecta al menos un parámetro de operación del agitador. El sistema de control está dispuesto para supervisar un parámetro de control basándose en al menos el parámetro de operación detectado del agitador, y para iniciar el ciclo de tratamiento en respuesta a al menos el parámetro de control que alcanza un valor umbral.

El parámetro de operación detectado del agitador representa una entrada de potencia al agitador, y el parámetro de control representa una entrada de energía acumulada al hielo pastoso almacenado en el tanque durante un período de tiempo de referencia. El parámetro de control se basa en al menos el parámetro de operación detectado del agitador durante el período de tiempo de referencia.

En una realización particularmente preferida, el parámetro de control se basa en el parámetro de operación detectado que representa la entrada de potencia al agitador junto con la carga de calor ambiental calculada en el tanque de almacenamiento durante el período de tiempo de referencia.

A pesar de la dificultad para predecir el progreso de los procesos de crecimiento y aglomeración de cristales dentro del tanque bajo cualquier régimen de agitación dado, sorprendentemente, se ha descubierto que la entrada de energía acumulada es un predictor fiable de la velocidad a la que las características de flujo de un hielo pastoso almacenado con alta fracción sólida cambian con el tiempo. Por lo tanto, es posible retrasar el ciclo de tratamiento hasta que la entrada de energía acumulada al tanque alcance un límite predefinido, sin comprometer la calidad del hielo pastoso cuando se entrega desde el tanque.

Otros objetos, características y ventajas más específicos resultarán evidentes a partir de las realizaciones ilustrativas que se describirán a continuación, puramente a modo de ejemplo y sin limitación al alcance de las reivindicaciones, y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la Figura 1 muestra un intercambiador de calor de superficie raspada conocido para su uso en la producción de un hielo pastoso;
- las Figuras 2A y 2B son un diagrama simplificado de tuberías e instrumentación de la máquina de limpieza Pigging de hielo AQL500 conocida;
- la Figura 3 muestra un aparato para producir y almacenar un hielo pastoso fluido de acuerdo con una realización de la invención; y
- la Figura 4 es un diagrama de flujo que muestra el ciclo de tratamiento del aparato de la Figura 3.

Los números de referencia que aparecen en más de una de las Figuras indican partes iguales o correspondientes en cada una de las mismas.

En esta memoria descriptiva, la fracción sólida se toma como la proporción de partículas sólidas por volumen total de hielo pastoso cuando se mide por el método calorimétrico. Puede obtenerse una aproximación fácil de la fracción sólida mediante el método de la cafetera. Ambos métodos son bien conocidos en la técnica y se explican, por ejemplo, en Ainslie (2010).

Con referencia a la Figura 3, un aparato para producir un hielo pastoso fluido de partículas congeladas se muestra

de forma simplificada, con las trayectorias de flujo de líquido mostradas como líneas continuas y las trayectorias de flujo de hielo pastoso como líneas sólidas rellenas. El aparato incluye un sistema de control 100 que incluye medios de procesamiento y memoria como se conoce en la técnica, con las seleccionadas de las entradas y salidas de señal y control representadas por líneas discontinuas. Para mayor claridad, solo se muestran algunas de las trayectorias de flujo y líneas de señal o control. Se entenderá, por supuesto, que en la práctica, trayectorias de flujo, válvulas, sensores y otros elementos funcionales adicionales se proporcionarán, y todos los elementos funcionales detectados o controlables (ya sea que se muestren en la Figura 3 o no) se conectarán al sistema de control.

El aparato incluye un generador de hielo pastoso 10 con un medio de enfriamiento 11 para congelar parcialmente un líquido 1 (es decir, congelar parte del líquido) para formar un hielo pastoso fluido 2. Los medios de enfriamiento 11 pueden comprender un intercambiador de calor de superficie raspada del tipo mostrado en la Figura 1, que tiene una camisa o serpentín 12 del intercambiador de calor que lleva un flujo de refrigerante 13 como salmuera o vapor de refrigerante y rodea una cámara generalmente vertical 14 con una entrada 15 para el agua u otro líquido 1 que se va a congelar, y una salida 16 para el hielo pastoso 2 de partículas líquidas y sólidas que se raspan de la pared de la cámara mediante un tornillo helicoidal o sinfín 17 accionado en giro por un motor 18. El líquido 1 se alimenta a la entrada 15 desde un tanque 19 que mantiene una altura constante dentro de la cámara. Convenientemente, se encuentra que el sinfín 17 ejercerá una acción de bombeo sobre el hielo pastoso que es proporcional a su velocidad de giro y a la fracción sólida del hielo pastoso, de modo que, al controlar la velocidad de giro del sinfín, saldrá un hielo pastoso de la fracción sólida deseada desde la salida 16.

Cuando se usa para producir un hielo pastoso de hielo de agua, el agua 3 y un aditivo 4 que comprende un depresor del punto de congelación a una concentración conocida se mezclan en proporciones definidas y se suministran mediante una bomba de alimentación de líquido 30 al generador de hielo pastoso 10. Cuando se usa para la limpieza Pigging de hielo, se prefiere que el hielo pastoso tenga una fracción sólida de al menos el 40 %, preferentemente de al menos el 50 %. En una implementación particularmente preferida, la velocidad de giro del sinfín es controlada por el sistema de control 100 usando un algoritmo de control con una entrada de un sensor de temperatura de alimentación de líquido (Figura 3, no mostrado; Figura 2B, 51) para lograr una fracción sólida de aproximadamente el 55 %.

El hielo pastoso fluido 2 se suministra desde la salida 16 a través de un tubo de alimentación 21 hasta un tanque de almacenamiento 22 en el que se almacena hasta que se necesite para su uso. Se proporciona un agitador motorizado 23 que comprende uno o más elementos agitadores (normalmente palas giratorias) 24 accionados en giro por uno o más motores 25 para agitar el hielo pastoso fluido dentro del tanque. El sistema de control 100 está dispuesto para controlar y suministrar potencia al motor o motores 25 del agitador 23 para hacer girar los elementos agitadores 24 de forma continua o intermitente a una velocidad constante o variable que refleja no solo la energía suministrada al motor, sino también la masa y la viscosidad del hielo pastoso en el tanque. Una masa o viscosidad aumentada aplicará más reacción de par y, por lo tanto, reducirá la velocidad del agitador o aumentará el consumo de potencia del motor. La generación de hielo pastoso puede terminar, por ejemplo, cuando el volumen objetivo de líquido ha sido entregado al generador de hielo pastoso 10 o cuando la masa objetivo de hielo pastoso está presente en el tanque de almacenamiento 22, medido, por ejemplo, por las células de carga 26 sobre las que se soporta el tanque 22.

El sistema de control incluye medios para detectar al menos un parámetro de operación OP del agitador, que puede ser, por ejemplo, el consumo de energía y/o la velocidad del motor agitador 25 y/o la reacción del par del uno o más elementos agitadores 24 a medida que el motor los hace girar. En cualquier caso, se apreciará que el parámetro de operación OP representa una entrada de potencia al agitador. Cuando se detecta durante un período de tiempo de referencia, el parámetro de operación OP representa por tanto, durante el período de tiempo de referencia, una entrada de energía acumulada al agitador y, por lo tanto, al hielo pastoso 2 almacenado en el tanque. Los medios de detección adecuados son bien conocidos en la técnica y pueden comprender, por ejemplo, un controlador de motor o un circuito de control de potencia o un transductor sensible al par del eje del agitador.

El sistema de control está configurado para supervisar un parámetro de control CP y para iniciar un ciclo de tratamiento en respuesta al menos al parámetro de control que alcanza un valor umbral CPt. El valor umbral CPt puede ser fijo o variable y puede determinarse empíricamente o mediante cálculo a partir de parámetros del sistema y almacenarse dentro de una memoria del sistema de control 100. Por lo tanto, durante la operación normal, el ciclo de tratamiento no se realiza hasta que el parámetro de control CP alcanza el valor umbral CPt. (Por supuesto, dentro del alcance de la reivindicación 1, el sistema de control puede configurarse además para proporcionar modos de operación alternativos en los que el ciclo de tratamiento puede realizarse alternativamente en respuesta a otra señal de inicio, por ejemplo, desde un temporizador o control manual).

El parámetro de control CP se basa en al menos el parámetro de operación detectado OP del agitador. El parámetro de control CP puede ser simplemente el parámetro de operación OP o puede ser generado por un algoritmo basado en el parámetro de operación OP, opcionalmente junto con otras entradas, como el volumen o la masa de hielo pastoso almacenado en el tanque (por ejemplo, medido por las células de carga 26), velocidad del motor o tensión de alimentación, etc.

En una implementación simple, el valor umbral CPt puede ser una entrada de potencia umbral o una reacción de par del agitador, como un valor medio durante un período de tiempo definido medido, por ejemplo, en segundos o minutos. En este caso, el ciclo de tratamiento puede iniciarse cuando la entrada de potencia o la reacción de par alcance el valor umbral, el aumento de carga en el agitador refleja un aumento de la viscosidad del hielo pastoso almacenado en el tanque.

Asombrosamente, incluso en esta implementación simple, la calidad del hielo pastoso almacenado en el tanque después de un período de almacenamiento sin rejuvenecimiento aún puede ser aceptable para muchos escenarios prácticos de limpieza Pigging de hielo. Al realizar el ciclo de tratamiento con menos frecuencia y en respuesta al estado real del hielo pastoso (reflejando, entre otras cosas, la temperatura ambiente y otros parámetros impredecibles de la situación de uso particular), la entrada total de energía al hielo pastoso almacenado con el tiempo se reduce de modo que el proceso de generación y almacenamiento de hielo pastoso se vuelve más energéticamente eficaz.

Sin embargo, la viscosidad del hielo pastoso almacenado reflejará no solo el deshielo, sino también otros procesos como el crecimiento de cristales y la aglomeración que ocurren al mismo tiempo que el deshielo. Además, dependiendo solo en parte del diseño del agitador y del tanque, el hielo pastoso almacenado dentro del tanque puede no ser homogéneo pero puede formar uno o más cuerpos discretos que interactúan de forma más o menos impredecible con el agitador. La reacción de par instantáneo del elemento agitador 24, por lo tanto, puede tener una correlación compleja o algo débil con la calidad del hielo pastoso almacenado dentro del tanque.

Sorprendentemente, se encuentra que existe una correlación relativamente más fuerte entre la calidad del hielo pastoso y la entrada de energía acumulada al tanque de almacenamiento, de modo que la calidad del hielo pastoso entregado desde el tanque pueda mantenerse ventajosamente dentro de límites más estrechos iniciando el ciclo de tratamiento en respuesta a la entrada de energía acumulada medida al tanque durante un período de tiempo de referencia a partir del último ciclo de tratamiento o llenado inicial del tanque.

De acuerdo con la invención, el parámetro de control CP se calcula como un valor acumulativo durante el período de tiempo de referencia, que representa la entrada de energía acumulada al hielo pastoso almacenado durante el período de tiempo de referencia. El parámetro de operación OP del agitador (si se mide como reacción de par, corriente del inducido del motor y/u otro parámetro o grupo de parámetros interrelacionados) será representativo de la entrada de potencia al agitador y, por tanto, cuando se mide en el tiempo, de la entrada de potencia al agitador.

El parámetro de control se basa en el parámetro de operación detectado del agitador durante el período de tiempo de referencia, opcionalmente en combinación con uno o más parámetros adicionales. Es particularmente preferido basar el parámetro de control CP en el parámetro de operación OP del agitador en combinación con un diferencial de temperatura ΔT entre una primera temperatura T1 del líquido 1 o hielo pastoso fluido 2 y una temperatura ambiente T2 externa al tanque. La primera temperatura T1 puede medirse mediante un primer sensor de temperatura 27 en cualquier punto conveniente, por ejemplo, en la trayectoria de flujo o (como se muestra) en el tanque de almacenamiento 22. La temperatura ambiente T2 puede medirse mediante un segundo sensor de temperatura 28 externo al tanque de almacenamiento 22.

En la práctica, la diferencia de temperatura puede calcularse basándose también en un coeficiente de transferencia de calor U que refleja la geometría, capacidad y otras características del tanque de almacenamiento 22 determinadas por análisis de datos experimentales, opcionalmente en combinación con el volumen o la masa de hielo pastoso almacenado que puede indicarse por la salida de las células de carga 26. Con referencia a la Figura 4, el parámetro de control CP puede restablecerse a cero al comienzo del período de tiempo de referencia (etapa 60), y luego recalcularse iterativamente en la etapa 61 aumentando su valor inicial en incrementos de tiempo sucesivos hasta que se alcance el valor umbral CPt, que marca la fase de trituración (etapa 62) al comienzo del ciclo de tratamiento que termina el período de tiempo de referencia. Cada incremento de CP puede calcularse utilizando la fórmula simplificada que se muestra a continuación, en la que AE es la entrada de energía del agitador durante el incremento de tiempo respectivo basándose en el parámetro de operación detectado OP:

$$CP = AE + U (T2 - T1)$$

El aparato puede incluir al menos una bomba de hielo pastoso 31, convenientemente una bomba de cavidad progresiva accionada por un motor 32 como se muestra, que bombea el hielo pastoso almacenado desde una salida 29 del tanque hasta una válvula 33 que está controlada por el sistema de control 100 para dirigir el hielo pastoso 2 a una salida final 34, que puede conectarse a una tubería externa que va a ser limpiada con Pigging, o para circular a través de una trayectoria de flujo de tratamiento y de regreso al tanque. Después de descargar el hielo pastoso de la salida final 34, la válvula 33 puede estar configurada para entregar un flujo de gran volumen de líquido 1 desde la entrada 43 hasta la salida final 34 para forzar la limpieza Pigging de hielo pastoso a través de la tubería.

La trayectoria de flujo del tratamiento pasa a través de un separador 35, que se puede formar como un tubo perforado encerrado dentro de una carcasa exterior que tiene una salida de líquido 36. Durante su uso, la presión aplicada por la bomba de hielo pastoso 31 fuerza al líquido 1 a salir del hielo pastoso 2 a través del tubo perforado al

interior de la carcasa. La válvula 37 es operable por el sistema de control 100 para conectar selectivamente la salida 36 a la bomba de líquido 30 que entrega el líquido separado 1 a través de una válvula de líquido separada (Vsl) 38 al generador de hielo pastoso 10 para volver a congelarlo y devolverlo al tanque 22, aunque, si se prefiere, por supuesto, podría drenarse.

La válvula 39 puede accionarse mediante el sistema de control 100 para dirigir selectivamente el hielo pastoso que fluye a través del tubo perforado del separador 35 directamente de regreso al tanque 22 o de regreso al tanque a través de un medio de trituración 40, que puede comprender una bomba de alto cizallamiento accionada por un motor 41 que también está controlado por el sistema de control 100.

Durante el ciclo de tratamiento, el hielo pastoso 2 almacenado en el tanque 22 se trata haciéndolo circular por medio de la bomba de hielo pastoso 31 a través de cada uno de los separadores 35 y los medios de trituración 40 y de regreso al tanque 22. El separador separa una porción del líquido 1 que queda en el hielo pastoso 2 de las partículas congeladas en la fase de separación (por ejemplo, deshidratación), mientras que el medio de trituración tritura las partículas congeladas para obtener un tamaño de partícula objetivo (por ejemplo, aproximadamente 3 mm) en la fase de trituración.

La circulación a través del separador y los medios de trituración puede ser simultánea o secuencial en una sola etapa a través de la trayectoria de flujo, de modo que las fases de separación y trituración se produzcan simultáneamente.

Preferentemente, sin embargo, el sistema de control está dispuesto para iniciar el ciclo de tratamiento con la fase de trituración, es decir, la fase de trituración comienza antes de la fase de separación, y preferentemente termina antes de que comience la fase de separación. Más preferentemente, la mayor parte o sustancialmente todo el hielo pastoso almacenado en el tanque de almacenamiento 22 se pasa a través de los medios de trituración 40 y de regreso al tanque en la etapa 62 (Figura 4) para completar la fase de trituración antes de que la fase de separación comience en la etapa 63.

Más preferentemente, el sistema de control está dispuesto para detectar un parámetro reométrico RP del hielo pastoso, para iniciar la fase de separación 63 después de la fase de trituración 62, y en la etapa 66 para terminar la fase de separación y por lo tanto el ciclo de tratamiento en respuesta al menos al parámetro reométrico RP detectado que alcanza un valor umbral RPt.

En esta memoria descriptiva, un parámetro reométrico RP es un parámetro indicativo de una característica de flujo del hielo pastoso 2.

Cuando el hielo pastoso 2 se genera a partir de un líquido 1 que contiene un depresor del punto de congelación conocido en una concentración predeterminada con precisión, la fracción sólida del hielo pastoso será proporcional a su temperatura y, por tanto, puede calcularse detectando la temperatura del hielo pastoso. Sin embargo, cuando un hielo pastoso tiene una fracción sólida del 50 % o más, un cambio de temperatura de 1 °C corresponderá a un cambio de aproximadamente el 12 % en la fracción sólida cuando se usa sal como depresor del punto de congelación, o hasta un 30 % con un depresor del punto de congelación menos efectivo como el azúcar o el ácido cítrico. Por tanto, la fracción sólida calculada es muy sensible a imprecisiones en la medición de temperatura.

También se conoce estimar la fracción sólida midiendo el consumo de potencia o la reacción de par del agitador en el tanque de almacenamiento. Sin embargo, como se ha descrito anteriormente con referencia al parámetro de control CP, la interacción entre el hielo pastoso y el agitador puede no proporcionar una indicación fiable de las características del flujo del hielo pastoso.

En contraste, se encuentra que cuando el hielo pastoso circula a través de una trayectoria de flujo, la resistencia al flujo medida, por ejemplo, por el par o el consumo de potencia de la bomba de hielo pastoso o la caída de presión sobre una porción definida de la trayectoria de flujo reflejará el tamaño de partícula y la fracción sólida, pero es insensible a la temperatura o composición química del hielo pastoso. En consecuencia, se prefiere bombear el hielo pastoso fuera del tanque de almacenamiento, a través de una trayectoria de flujo y de regreso al tanque, y para medir el parámetro reométrico RP a medida que el hielo pastoso fluye a través de la trayectoria de flujo.

Preferentemente, por lo tanto, se dispone un medio de detección reométrica en una trayectoria de flujo del hielo pastoso fluido para detectar el parámetro reométrico RP del hielo pastoso fluido que circula a través de la trayectoria de flujo durante el ciclo de tratamiento.

En el ejemplo ilustrado, los medios de detección reométrica comprenden un sensor de presión 42 que detecta el parámetro reométrico RP como una presión del hielo pastoso fluido 2 en la trayectoria de flujo mientras la bomba de hielo pastoso 31 gira a una velocidad constante o mientras el sistema de control detecta el par y/o la velocidad y/o entrada de potencia a su motor 32. La detección se lleva a cabo convenientemente a medida que el hielo pastoso circula a través de la trayectoria de flujo durante la fase de separación, aunque podría realizarse durante la fase de trituración, en una fase de detección separada, o incluso a través de una trayectoria de flujo separada. En

disposiciones alternativas, el parámetro reométrico RP podría basarse, por ejemplo, en el par o potencia de entrada al motor de la bomba de hielo pastoso 32 o en la caída de presión entre dos sensores de presión separados a lo largo de una porción predefinida de la trayectoria de flujo.

5 En la realización ilustrada, el sistema de control comprende un controlador PID 101 que ajusta la válvula de líquido separada (Vsl) 38 en respuesta al par motor detectado o entrada de potencia de la bomba de hielo pastoso 31 para controlar la presión del líquido separado dentro de la carcasa del separador 35 y por lo tanto la velocidad a la que se extrae el líquido 1 del hielo pastoso 2 que fluye a través de su tubo perforado.

10 Con referencia de nuevo a la Fig. 4, la válvula de líquido separada (Vsl) 38 es también operada por el sistema de control para controlar el flujo de la porción separada del líquido 1 del separador cerrándola periódicamente durante el ciclo de tratamiento en la etapa 64 para interrumpir el flujo de líquido 1 desde el separador 35. La presión en el sensor 42 se detecta como el parámetro reométrico RP en la etapa 65 mientras la válvula de líquido separada (Vsl) 38 está cerrada, para que la caída de presión en el separador no afecte la medición del parámetro reométrico RP.

15 Por supuesto, otra válvula tal como la válvula 37 podría usarse como alternativa para este fin.

Por supuesto, se entenderá que la resistencia al flujo del hielo pastoso refleja, entre otras cosas, tanto su fracción sólida como su tamaño de partícula. Además, la fase de trituración representa una entrada de potencia y, por lo tanto, acelera el deshielo. Ventajosamente por tanto, al medir el parámetro reométrico RP después de completar la

20 fase de trituración, el parámetro reométrico RP proporciona una indicación de la fracción sólida en el tamaño de partícula objetivo, y de modo que el ciclo de tratamiento puede terminar sin más deshielo cuando se alcanza el valor umbral RPt.

Este método proporciona una medida precisa y repetible del parámetro reométrico que indica de forma confiable la

25 calidad del hielo pastoso durante su uso, particularmente para un hielo pastoso del 50 % de fracción sólida o más en el que la calidad del hielo pastoso depende críticamente de su fracción sólida y tamaño de partícula, por ejemplo, como determinantes clave del cizallamiento de pared cuando se utiliza para la limpieza Pigging de hielo de una tubería. Sin embargo, al confiar en un ciclo de bombeo activo para medir el parámetro reométrico RP el método requiere necesariamente una entrada de energía de la bomba de hielo pastoso para realizar la medición, que

30 acelera el proceso de deshielo. Por esta razón, el método podría considerarse como menos energéticamente eficaz que un enfoque más pasivo que deriva el parámetro reométrico RP, por ejemplo, del par del agitador o de la entrada de potencia.

Sin embargo, al retrasar el inicio del ciclo de tratamiento (y, por tanto, la circulación bombeada durante la que se mide el parámetro reométrico RP) hasta que se alcanza el valor umbral del parámetro de control CPt, se minimiza la frecuencia y, por tanto, la entrada neta de energía del ciclo de tratamiento. En sus realizaciones preferidas, el nuevo método representa por tanto un aumento neto de la eficacia energética global a pesar de incurrir en un coste energético en comparación con un régimen de almacenamiento más pasivo.

Haciendo referencia a continuación a las Figuras 2A y 2B, un aparato conocido de generación y almacenamiento de hielo pastoso puede adaptarse para operar con un sistema de control (no mostrado) generalmente como se ha descrito anteriormente, con elementos similares representados por los mismos números de referencia. En el ejemplo

40 mostrado, hay dos elementos agitadores 24 y dos generadores de hielo pastoso 10 dispuestos en paralelo, junto con una bomba de limpieza 50 y trayectorias de flujo auxiliares y válvulas adicionales para facilitar la limpieza de la tubería, y elementos funcionales adicionales como un sensor de nivel 52. Para facilitar la ilustración, el sistema se muestra en dos partes conectadas entre sí como se muestra en (a), (b), (c) y (d). Se entenderá que también pueden estar presentes otros elementos funcionales del sistema descrito anteriormente, aunque no se muestran en las Figuras 2A y 2B.

En resumen, las realizaciones proporcionan un aparato para generar y almacenar en un tanque un hielo pastoso fluido de partículas congeladas utilizables, entre otras cosas, en la limpieza Pigging de hielo. Se dispone un sistema de control para supervisar un parámetro de operación del agitador en el tanque de almacenamiento y para iniciar un ciclo de deshidratación y separación o deshidratación del hielo pastoso cuando un parámetro de control basado en el parámetro de operación alcanza un valor umbral. El parámetro de control representa una entrada de energía

50 acumulada al tanque de almacenamiento. La trituración se puede realizar antes de la separación, terminando el ciclo de tratamiento cuando un parámetro reométrico detectado del hielo pastoso que circula en la trayectoria de flujo del tratamiento alcanza un valor objetivo.

En realizaciones alternativas, la bomba de hielo pastoso puede estar dispuesta para ejercer una acción de cizallamiento sobre el hielo pastoso de modo que funcione como medio de trituración. Sin embargo, se prefiere proporcionar un mecanismo de trituración dedicado, como una bomba de alto cizallamiento, como se ilustra, junto con una bomba de hielo pastoso que está optimizada para su función principal de mover el hielo pastoso a través de la trayectoria de flujo. La presión inducida por la bomba de hielo pastoso facilita ventajosamente la separación efectiva del líquido y la medición precisa del parámetro reométrico detectado.

65 En realizaciones alternativas, la conminución y la separación pueden ocurrir secuencialmente en una sola operación,

en cuyo caso los medios de trituración podrían disponerse en la trayectoria de flujo antes del separador. Como alternativa, la fase de trituración y la fase de separación pueden realizarse de forma independiente o simultánea como procesos paralelos, opcionalmente usando bombas de hielo pastoso separadas y trayectorias de flujo separadas. Como alternativa, uno o ambos procesos de trituración y separación pueden llevarse a cabo dentro del tanque de almacenamiento.

Los medios de enfriamiento pueden comprender cualquier disposición adecuada conocida en la técnica para extraer calor del líquido 1, ya sea por compresión de vapor u otro ciclo de refrigeración, por contacto directo o indirecto con un refrigerante líquido o gaseoso, o de cualquier otra forma. Los medios de trituración no necesitan ser una bomba, sino que pueden comprender cualquier disposición funcional conocida en la técnica para reducir el tamaño de las partículas congeladas en el hielo pastoso, ya sea mediante molienda u otra acción mecánica directa o de otro modo. Los medios de detección pueden comprender cualquier transductor u otro dispositivo para proporcionar una salida indicativa del valor del parámetro objetivo, ya sea que forme parte de otro dispositivo, como un controlador de motor o una disposición de fuente de alimentación, o como un dispositivo separado. Opcionalmente, el ciclo de tratamiento puede iniciarse en respuesta a otros parámetros además del valor umbral CPt. Por ejemplo, puede ser preferible establecer un período de tiempo mínimo que debe transcurrir entre ciclos de tratamiento consecutivos, en cuyo caso el ciclo de tratamiento puede depender también de una entrada de temporizador.

Muchas otras adaptaciones posibles dentro del alcance de las reivindicaciones resultarán evidentes para los expertos en la materia.

En las reivindicaciones, los caracteres de referencia y los números entre paréntesis se proporcionan para facilitar la comprensión y no deben interpretarse como características limitantes.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para producir un hielo pastoso fluido (2) de partículas congeladas, que incluye:

un medio de enfriamiento (11) para congelar parcialmente un líquido (1) para formar el hielo pastoso fluido;
un tanque (22) para almacenar el hielo pastoso fluido;
un agitador motorizado (23) para agitar el hielo pastoso fluido dentro del tanque;
un separador (35) para separar una porción del líquido que queda en el hielo pastoso fluido almacenado en el tanque de las partículas congeladas en una fase de separación (63) de un ciclo de tratamiento; un medio de trituración (40) para triturar las partículas congeladas en el hielo pastoso fluido almacenado en el tanque en una fase de trituración (62) del ciclo de tratamiento; y
un sistema de control (100) para controlar el ciclo de tratamiento;
en el que el sistema de control incluye medios para detectar al menos un parámetro de operación (OP) del agitador (23); y **caracterizado por que** el sistema de control está configurado:

- para supervisar un parámetro de control (CP), en el que el parámetro de control se basa en al menos el parámetro de operación detectado (OP) del agitador, y
- para iniciar el ciclo de tratamiento en respuesta al menos a que el parámetro de control alcance un valor umbral (CPT); en el que

el parámetro de operación detectado (OP) del agitador representa una entrada de potencia al agitador, y el parámetro de control (CP) representa una entrada de energía acumulada al hielo pastoso fluido (2) almacenado en el tanque (22) durante un período de tiempo de referencia; y
el parámetro de control se basa en al menos el parámetro de operación detectado del agitador durante el período de tiempo de referencia.

2. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que:

el sistema de control (100) incluye además primer (27) y segundo (28) sensores de temperatura dispuestos para detectar respectivamente una primera temperatura (T1) del líquido o hielo pastoso fluido y una temperatura ambiente (T2) externa al tanque; y el parámetro de control (CP) se basa en al menos el parámetro de operación detectado (OP) del agitador (23) durante el período de tiempo de referencia y un diferencial de temperatura (ΔT) entre la primera y la temperatura ambiente.

3. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el sistema de control está dispuesto para iniciar el ciclo de tratamiento con la fase de trituración (62).

4. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el sistema de control está dispuesto para iniciar la fase de separación (63) después de la fase de trituración (62), y para terminar la fase de separación en respuesta al menos a un parámetro reométrico detectado (RP) del hielo pastoso fluido (2) que alcanza un valor umbral (RPt).

5. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 4, que incluye al menos una bomba de hielo pastoso (31) para hacer circular el hielo pastoso fluido almacenado en el tanque a través de cada uno de los separadores (35) y los medios de trituración (40) y de regreso al tanque (22) en el ciclo de tratamiento; y en el que
un medio de detección reométrica (42) está dispuesto en una trayectoria de flujo del hielo pastoso fluido para detectar el parámetro reométrico del hielo pastoso fluido que circula a través de la trayectoria de flujo durante el ciclo de tratamiento.

6. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el parámetro reométrico (RP) es una presión del hielo pastoso fluido en la trayectoria de flujo.

7. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 6, en el que se dispone una válvula de líquido separada (38) para controlar el flujo de dicha porción del líquido (1) desde el separador (35),
y el sistema de control está dispuesto para cerrar la válvula de líquido separada periódicamente durante el ciclo de tratamiento y para detectar la presión mientras la válvula de líquido separada está cerrada.

8. Un método para producir un hielo pastoso fluido (2) de partículas congeladas, que incluye:

congelar parcialmente un líquido (1) para formar el hielo pastoso fluido;
almacenar el hielo pastoso fluido en un tanque (22);
suministrar potencia a un agitador (23) para agitar el hielo pastoso fluido dentro del tanque; y tratar el hielo pastoso fluido almacenado en el tanque durante un ciclo de tratamiento, que incluye:

- triturar las partículas congeladas en el hielo pastoso fluido almacenado en el tanque durante una fase de trituración (62) del ciclo de tratamiento, y
- separar una porción del líquido que queda en el hielo pastoso fluido almacenado en el tanque de las

partículas congeladas en una fase de separación (63) del ciclo de tratamiento; en el que el método incluye además:

5 detectar al menos un parámetro de operación (OP) del agitador,
supervisar un parámetro de control (CP), en el que el parámetro de control se basa en al menos el parámetro de
operación detectado del agitador, e iniciar el ciclo de tratamiento en respuesta al menos al parámetro de control
que alcanza un valor umbral (CPt); y en el que
10 el parámetro de operación detectado (OP) del agitador representa la potencia suministrada al agitador, y
el parámetro de control (CP) representa una entrada de energía acumulada al hielo pastoso fluido almacenado
en el tanque durante un período de tiempo de referencia, y
el parámetro de control se basa en al menos el parámetro de operación detectado del agitador durante el período
de tiempo de referencia.

15 9. Un método de acuerdo con la reivindicación 8, que incluye:

detectar una primera temperatura (T1) del líquido o hielo pastoso fluido y una temperatura ambiente (T2) externa
al tanque; en el que
el parámetro de control (CP) se basa en al menos el parámetro de operación detectado (OP) del agitador durante
el período de tiempo de referencia y un diferencial de temperatura (ΔT) entre la primera y la temperatura
20 ambiente.

10. Un método de acuerdo con la reivindicación 8 o la reivindicación 9, en el que el ciclo de tratamiento se inicia con
la fase de trituración (62).

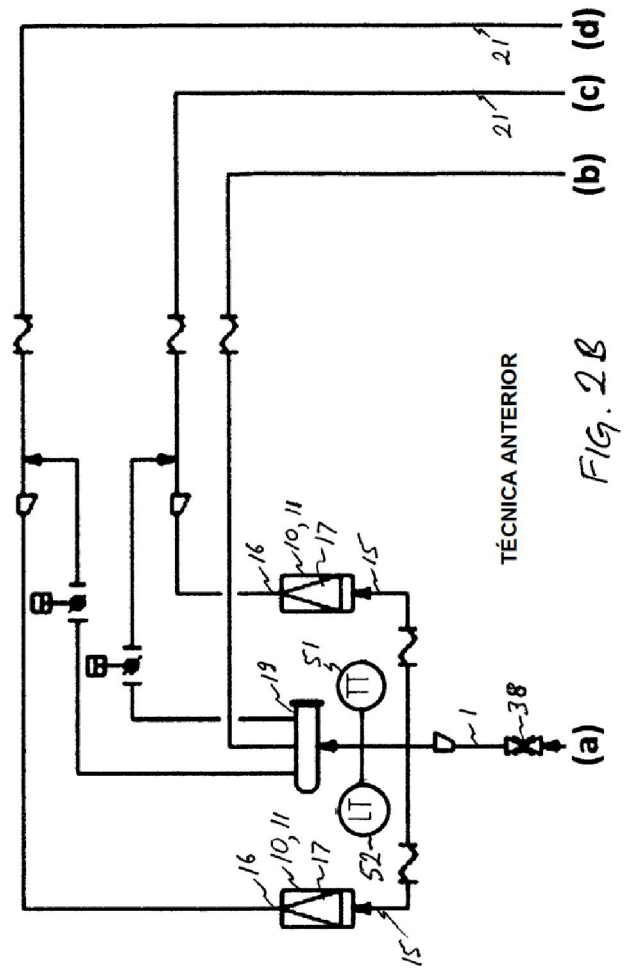
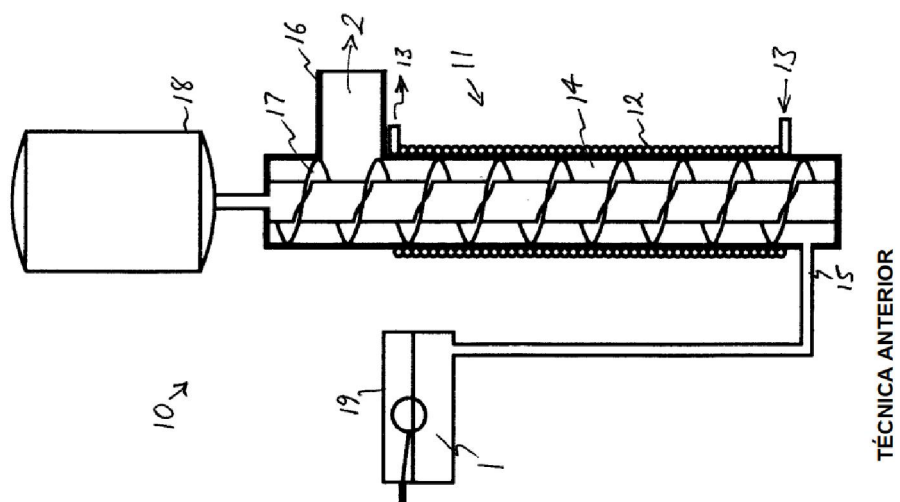
25 11. Un método de acuerdo con la reivindicación 10, que incluye:

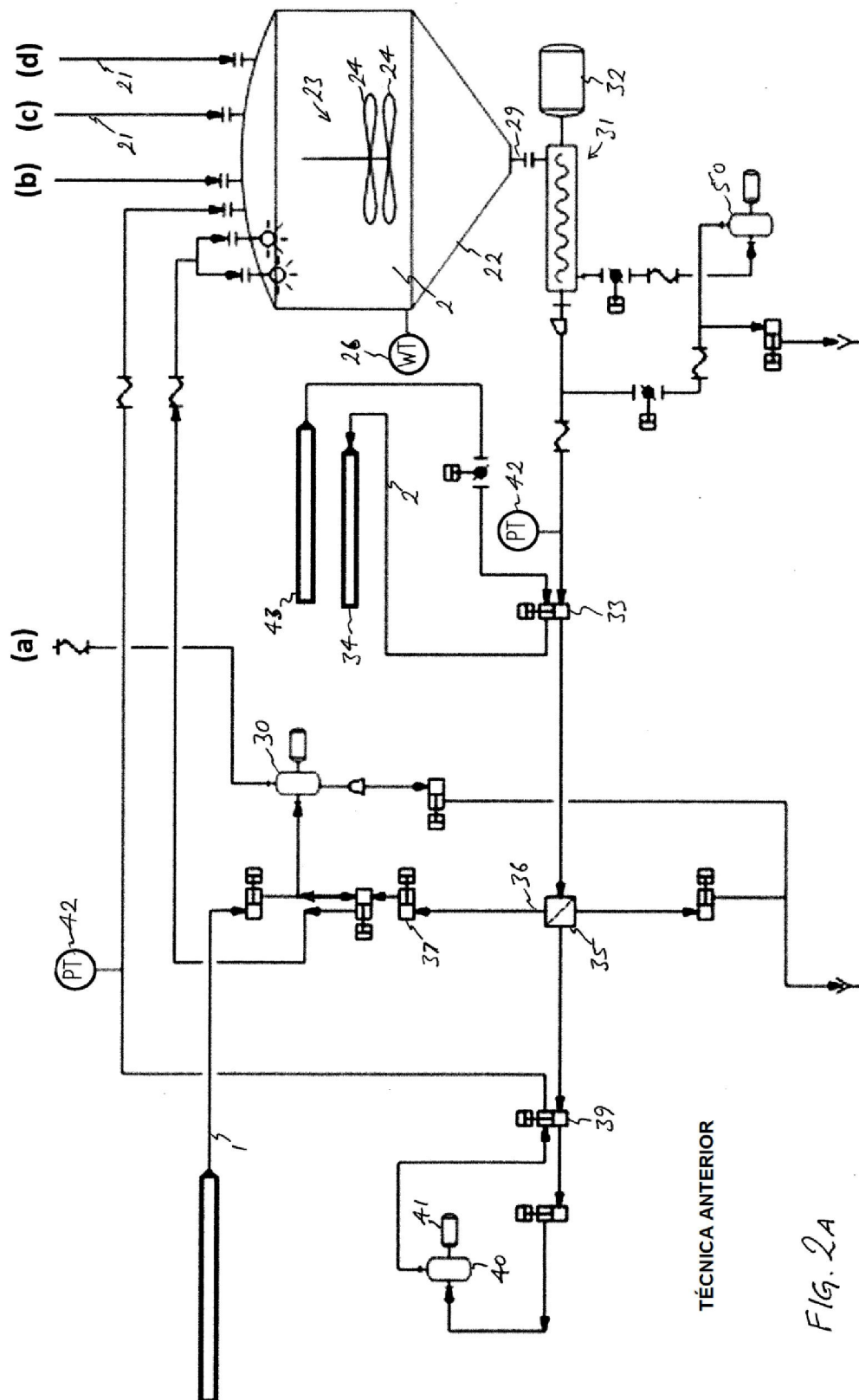
detectar un parámetro reométrico (RP) del hielo pastoso fluido,
iniciar la fase de separación (63) después de la fase de trituración (62), y
30 terminar la fase de separación en respuesta al menos al parámetro reométrico detectado que alcanza un valor
umbral (RPt).

12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, que incluye:

35 hacer circular el hielo pastoso fluido almacenado en el tanque a través de un separador (35) y un medio de
trituración (40) y de regreso al tanque en el ciclo de tratamiento; y
detectar el parámetro reométrico (RP) del hielo pastoso fluido que circula a través de una trayectoria de flujo
durante el ciclo de tratamiento.

40 13. Un método de acuerdo con la reivindicación 12, en el que el parámetro reométrico (RP) se detecta como una
presión del hielo pastoso fluido en la trayectoria de flujo.





TÉCNICA ANTERIOR

Fig. 2A

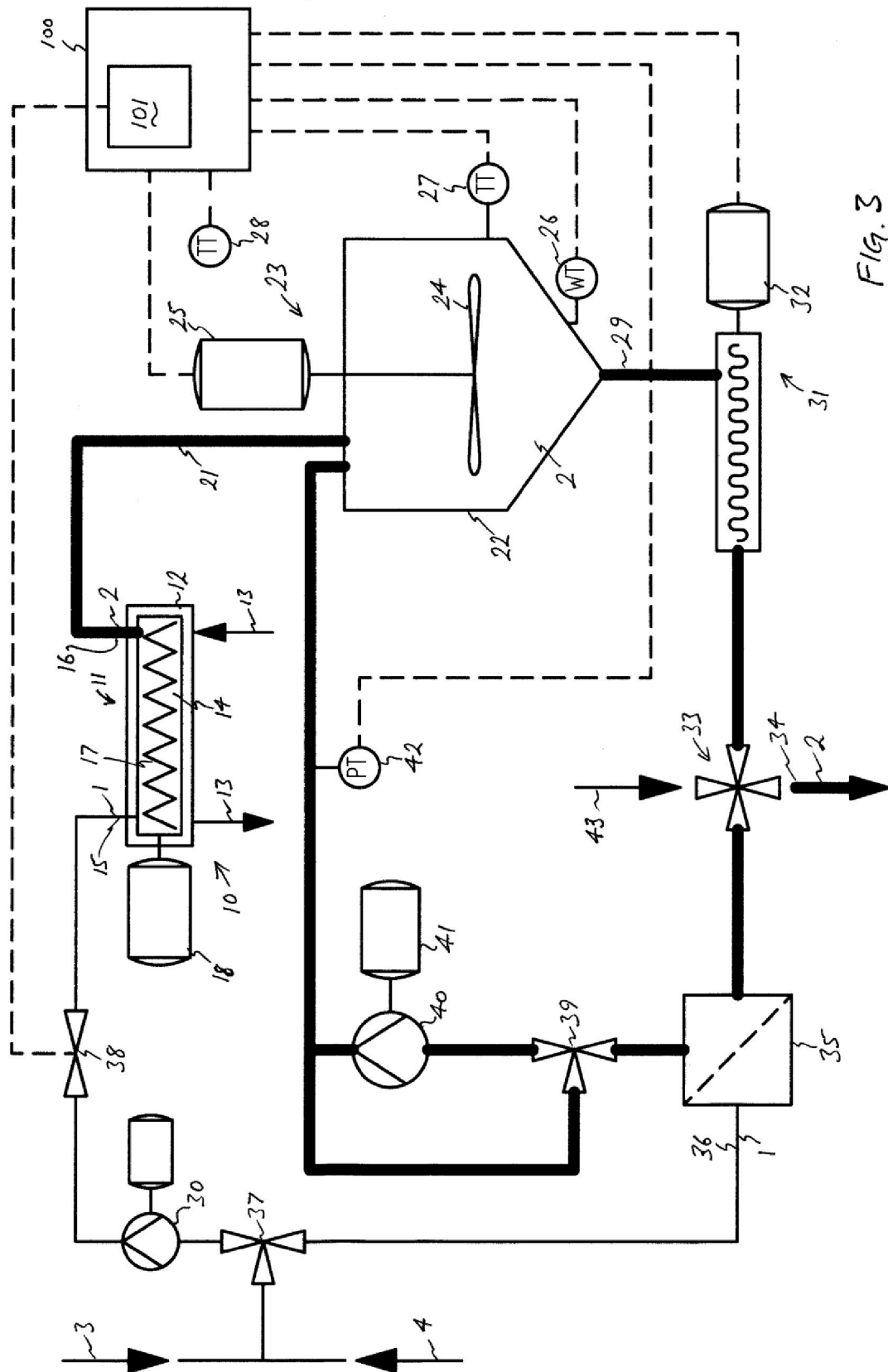


Fig. 3

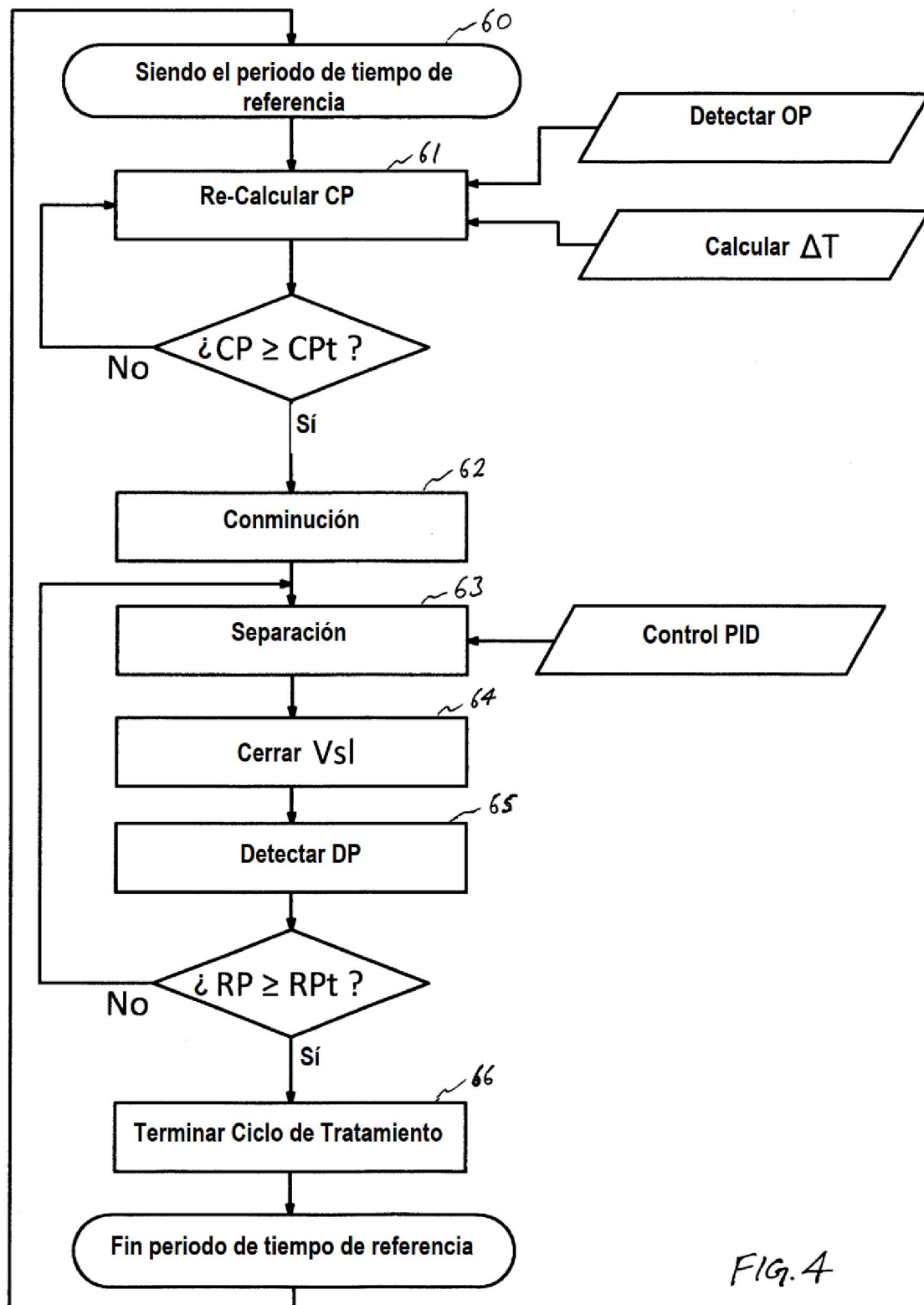


Fig. 4