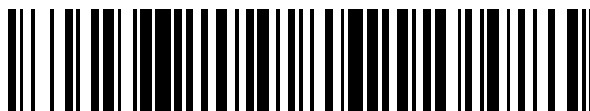


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 046**

51 Int. Cl.:

**C02F 11/18** (2006.01)

**C02F 11/04** (2006.01)

**C02F 11/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.03.2014 PCT/EP2014/054585**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.09.2014 WO14139951**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.03.2014 E 14710522 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2017 EP 2964582**

54 Título: **Procedimiento energéticamente eficiente de tratamiento de lodos**

30 Prioridad:

**09.03.2013 US 201313791919**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**21.07.2017**

73 Titular/es:

**VEOLIA WATER SOLUTIONS & TECHNOLOGIES  
SUPPORT (100.0%)  
Immeuble L'Aquarène 1 Place Montgolfier  
94410 Saint-Maurice, FR**

72 Inventor/es:

**HØJSGAARD, SØREN JOHANNES y  
ROHOLD, LARS**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 626 046 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

Procedimiento energéticamente eficiente de tratamiento de lodos

### Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a procedimientos para tratamiento de lodos y, más particularmente, a un procedimiento en el que el lodo deshidratado se dirige a través de un reactor de hidrólisis y posteriormente a un digestor anaeróbico, y en el que el procedimiento se diseña para eficiencia energética.

### Antecedentes

10 La digestión anaeróbica es un procedimiento de conversión de energía que puede producir biogás a partir de materia sólida en lodo y reducir la descarga de residuos. El biogás puede usarse para las demandas de energía en un procesamiento global de lodos o sistema de tratamiento de aguas residuales o en otras áreas. La digestión de lodo anaeróbicamente tiene lugar debido a organismos presentes en el lodo y es conocido que tiene lugar en al menos dos regímenes de temperatura generales. A temperaturas de aproximadamente 32-38 °C, son activos los organismos mesófilos y contribuyen a la digestión, mientras que a temperaturas de 50-60 °C funcionan los organismos termófilos para digerir el lodo. Dependiendo del tipo de lodo que se esté procesando pueden implicarse  
15 diferentes perfiles de población de organismos, y la digestión anaeróbica se activa generalmente en un intervalo consistente con el tipo de lodo y el perfil de organismos en el lodo. Típicamente, se desea operar el digestor anaeróbico en el intervalo de 30-60 °C. Para compensar la pérdida de calor desde el digestor y para asegurar que la temperatura de operación en el digestor permanece en el intervalo deseado, es conocida la aplicación en el lodo de alimentación al digestor a una temperatura que está aproximadamente a 1- 10 °C por encima de la temperatura de  
20 operación deseada del digestor anaeróbico. También, una concentración de sólidos secos óptima para la digestión anaeróbica del lodo es de aproximadamente 3 % - 10 % de concentración de sólidos secos.

25 En la preparación del lodo en bruto para digestión anaeróbica, es conocido someter al lodo a hidrólisis. La hidrólisis incrementa la biodegradabilidad de la materia orgánica en el lodo, lo que incrementa la producción de biogás y reduce la producción de residuos de la digestión anaeróbica. La hidrólisis del lodo tiene lugar en intervalos de temperatura y presión de 150-170 °C y 6-12 bar, respectivamente. Se prefiere deshidratar el lodo a aproximadamente 20 % - 30 % en peso de sólidos secos antes de suministrar el lodo al interior del reactor de hidrólisis para minimizar el volumen del reactor y el consumo de energía.

30 La temperatura y presión en los intervalos deseados para hidrólisis del lodo se crean típicamente mediante la inyección de vapor en el lodo dentro del reactor de hidrólisis. La inyección de vapor es un aspecto de la hidrólisis del lodo altamente intensivo en energía y la recuperación de la energía residual es un aspecto de preocupación relativamente significativa para la hidrólisis del lodo. En algunos casos, es conocida la recuperación parcial de la energía mediante la inyección instantánea de vapor dentro del lodo entrante en un procedimiento de hidrólisis en lotes o mediante el calentamiento de agua de alimentación de caldera para la producción de nuevo vapor. Estos procedimientos se caracterizan por una eficiencia menor de la deseable y un coste muy alto.

35 Continúa siendo una necesidad la mejora de la eficiencia energética de los sistemas de tratamiento de lodo que incluyen procedimientos para la hidrólisis del lodo y posteriormente la digestión de forma anaeróbica del lodo.

40 El documento de la técnica anterior JP 2009 101293 desvela un sistema de tratamiento de lodos que trata de modo efectivo en calor el lodo sin provocar disminución de la eficiencia del intercambio de calor mediante la fijación de un componente de lodo a las áreas de transferencia de calor, y sin provocar obstrucciones de los pasos de flujo por el lodo.

El documento JP 2007 021300 desvela un sistema de reducción del calentamiento de líquido/temperatura que requiera tratamiento de un líquido a ser tratado mediante calentamiento, reduciendo una temperatura del líquido tratado, y capaz de mejorar la eficiencia térmica.

45 El documento de Francis L. Evans: "Heat Treatment/Low Pressure Oxidation Systems: Design and Operational Considerations", septiembre de 1985, Metcalf & Eddy, Wakefield Massachusetts, desvela un diseño y factores operacionales para revisar cuando se considera el acondicionamiento térmico como parte de una nueva o actualizada planta de tratamiento, o cuando se optimiza el rendimiento de una instalación existente.

### Sumario

50 La presente invención proporciona un procedimiento para la hidrólisis de lodo y digestión anaeróbica del lodo hidrolizado en una forma que sea energéticamente eficiente.

La presente invención comprende dirigir el lodo deshidratado a un intercambiador de calor orientado en general verticalmente o ligeramente inclinado en el que el intercambiador de calor incluye una entrada de lodo localizada en una parte inferior del intercambiador de calor y una salida de lodo localizada en una parte superior del intercambiador de calor. El intercambiador de calor incluye adicionalmente una entrada de lodo hidrolizado

5 localizada en una parte superior del intercambiador de calor y una salida del lodo hidrolizado situada en una parte inferior del intercambiador de calor. El procedimiento o procedimiento incluye dirigir el lodo hacia arriba a través del intercambiador de calor mientras se dirige el lodo hidrolizado hacia abajo a través del intercambiador de calor para proporcionar una transferencia de calor de lodo a lodo, en la que el lodo hidrolizado calienta de modo efectivo el lodo incidente o deshidratado. El lodo hidrolizado que sale del intercambiador de calor se dirige a un digestor anaeróbico. Previamente a alcanzar el digestor anaeróbico, el lodo hidrolizado puede acondicionarse mediante el ajuste de su temperatura y contenido de sólidos secos.

El procedimiento puede implicar la variación del flujo de lodo deshidratado a través del intercambiador de calor durante un cierto periodo de tratamiento del lodo.

10 Durante un modo de arranque, por ejemplo, el procedimiento puede incluir dirigir una mayoría del lodo deshidratado a través de una línea de derivación del intercambiador de calor y al reactor de hidrólisis, y durante un modo de estado estable, dirigir al menos una parte del lodo deshidratado a través del intercambiador de calor y a continuación al reactor de hidrólisis.

15 Un sistema para implementar el procedimiento de la invención puede comprender: una unidad de deshidratación de lodo configurada para el deshidratado de lodo; un reactor de hidrólisis de lodo configurado para hidrolizar el lodo deshidratado; un intercambiador de calor configurado para el calentamiento de al menos una parte del lodo deshidratado previamente a que el lodo deshidratado entre en el reactor de hidrólisis, estando configurado el intercambiador de calor para una transferencia de calor de lodo a lodo entre el lodo hidrolizado y el lodo deshidratado; un digestor anaeróbico configurado para la digestión anaeróbicamente del lodo hidrolizado; y un controlador; en el que el controlador está adaptado para controlar el tratamiento de lodo mediante la variación del flujo de lodo deshidratado a través del intercambiador de calor durante periodos predeterminados de tratamiento de lodo mediante: durante un modo de arranque dirigir al menos una parte del lodo deshidratado a través de una línea de derivación del intercambiador de calor y al reactor de hidrólisis; y durante un modo de estado estable, dirigir una mayoría del lodo deshidratado a través del intercambiador de calor y a continuación al reactor de hidrólisis.

25 Otros objetos y ventajas de la presente invención serán evidentes y obvios a partir del estudio de la descripción que sigue a continuación y de los dibujos adjuntos que son meramente ilustrativos de dicha invención.

### **Breve descripción de los dibujos**

Se describirán ahora adicionalmente realizaciones de la invención con referencia a los dibujos, en los que:

30 La Figura 1 es una representación esquemática global de un sistema de hidrólisis y acondicionamiento de lodos para digestión anaeróbica.

La Figura 2 es una representación esquemática del sistema de hidrólisis y acondicionamiento de lodos para digestión anaeróbica.

La Figura 3 es una vista en sección de un intercambiador de calor de lodo a lodo para el sistema de hidrólisis y acondicionamiento de lodos para digestión anaeróbica.

35 La Figura 4A es una primera parte de un diagrama de lógica de control del sistema para una realización ejemplar de un sistema de control para el sistema de hidrólisis y acondicionamiento de lodos para digestión anaeróbica.

La Figura 4B es una segunda parte de un diagrama de lógica de control del sistema para una realización ejemplar de un sistema de control para el sistema de hidrólisis y acondicionamiento de lodos para digestión anaeróbica.

40 La Figura 4C es una tercera parte de un diagrama de lógica de control del sistema para una realización ejemplar de un sistema de control para el sistema de hidrólisis y acondicionamiento de lodos para digestión anaeróbica.

### **Descripción detallada**

45 La presente invención implica un procedimiento para tratamiento de lodos. Se muestra un sistema relacionado en las Figuras 1 y 2 y se indica en general por el número 100. El sistema 100 recibe un lodo en bruto y produce biogás y una corriente de residuos. En particular, el sistema 100 incluye una unidad 110 de deshidratación para deshidratación de lodo en la que los sólidos secos, DSIN, en el lodo se incrementan a aproximadamente 20 % y 30 % en peso. Adicionalmente, el sistema 100 incluye un subsistema al que se hace referencia en general por el número 200. El subsistema 200 incluye un sistema 210 de hidrólisis de lodos y puede incluir adicionalmente un sistema y procedimiento para acondicionar el lodo hidrolizado, al que se hace referencia por número 250. El procedimiento de hidrólisis incluye calentamiento del lodo dentro de un intervalo de aproximadamente 140 a 50 aproximadamente 165 °C en un reactor de hidrólisis mostrado en la Figura 2 al que se hace referencia por el número 214. En una realización, la presión en el reactor 214 se mantiene en aproximadamente 8 bar dependiendo de la temperatura del procedimiento. Esto soporta la hidrólisis del lodo y da como resultado la reducción de la concentración de sólidos secos en el lodo. Después de que lodo se haya sometido al procedimiento de hidrólisis, el

lodo se dirige a un digestor 120 anaeróbico. Sin embargo, previamente a alcanzar el digestor anaeróbico, el lodo hidrolizado puede someterse a acondicionamiento. Un objetivo del acondicionamiento es optimizar el procedimiento de digestión anaeróbica que tiene lugar en el digestor 120 anaeróbico. De ese modo, como se apreciará a partir de las siguientes partes de la divulgación, el sistema y procedimiento de acondicionamiento implica principalmente el ajuste en la forma apropiada de la temperatura del lodo hidrolizado así como de la concentración de sólidos secos del lodo hidrolizado. El ajuste de temperatura puede conseguirse mediante una serie de intercambiadores de calor y la concentración de sólidos secos se ajusta mediante la inyección de agua de dilución en el lodo hidrolizado. Típicamente en el procedimiento de acondicionamiento, la temperatura del lodo hidrolizado se reduce a aproximadamente 40 °C y la concentración de sólidos secos del lodo se reduce de modo que la concentración de sólidos secos del lodo que se dirige a digestor 120, DSOUT es de aproximadamente 6 % - 14 % en peso. El lodo hidrolizado acondicionado se dirige al digestor 120 anaeróbico en donde organismos mesófilos y/o termófilos rompen adicionalmente y convierten los sólidos para producir biogás y una corriente de residuo. Se apreciará que el control de la temperatura a la que el lodo hidrolizado entra en el digestor 120 anaeróbico proporciona compensación de las pérdidas de calor del digestor de modo que el digestor opere en un intervalo de temperatura óptimo de aproximadamente 30 a 60 °C, dependiendo de si el digestor está operando bajo condiciones mesófilas o condiciones termófilas. El ajuste de la concentración de sólidos secos a aproximadamente 6 %-14 % en peso también tiende a un soporte eficiente y una digestión anaeróbica efectiva.

Considerando más particularmente el subsistema 200, tal como se ilustra en la Figura 2, el subsistema recibe lodo deshidratado a través de la línea 11 a través de la tolva 12, que puede ser parte de la unidad 110 de deshidratación, cuyo funcionamiento es familiar para los expertos en la materia de tratamiento de residuos y manejo de lodos. Después de un período de arranque, una bomba 14 de lodos de flujo variable de desplazamiento positivo suministra lodo deshidratado, generalmente de modo continuo, a través de la línea 15 al reactor 214 de hidrólisis. En un modo de operación después del periodo de arranque, el lodo deshidratado es dirigido a través de una válvula 18 de derivación de control de flujo variable a la línea 19, y de ahí a través de la línea 25 al interior del reactor 214 de hidrólisis. Asociado con el reactor 214 de hidrólisis hay un generador 212 de vapor. El generador 212 de vapor es operativo para dirigir continuamente vapor a través de una válvula 24 (V4) y líneas 23 y 25 al interior del reactor 214 de hidrólisis durante el procedimiento de hidrólisis. Se aprecia, sin embargo, que el vapor puede suministrarse alternativamente desde una fuente exterior. Sin embargo, puede ser ventajoso emplear el generador 212 de vapor, usando energía del biogás generado por el digestor 120, en cuyo caso puede ser posible reducir el consumo de energía típicamente en aproximadamente el 10 % mediante la recuperación de calor del lodo al agua para el vapor usando el intercambiador 270 de calor. El lodo caliente, hidrolizado se dirige a través de la línea 27 a una entrada 228 de lodo hidrolizado de un intercambiador 216 de calor y de ahí en general hacia abajo a través del intercambiador de calor a una salida 226 de lodo hidrolizado del mismo y de ahí a través de la línea 29 a varias partes en el sistema global, incluyendo en donde el lodo hidrolizado se acondiciona para un tratamiento apropiado en el digestor anaeróbico.

En otro modo de operación, el lodo deshidratado se dirige a través de la línea 17 al interior de una válvula 20 de control de flujo variable y de ahí a través de la línea 31 a una entrada 222 de lodo deshidratado del intercambiador 216 de calor. En algunas realizaciones, la válvula 20 puede omitirse tal como se indica por la línea 17A discontinua. El lodo deshidratado es dirigido en general hacia arriba dentro del intercambiador 216 de calor hacia una salida 224 de lodo deshidratado y de ahí a través de la línea 21 a la línea 19 y a través de la línea 25 al reactor 214 de hidrólisis.

Se aprecia que dirigir al menos una parte del lodo deshidratado a través del intercambiador 216 de calor puede servir tanto para ayudar a la refrigeración del lodo hidrolizado como para recuperar una parte de la energía añadida durante la hidrólisis. Al menos una parte del lodo hidrolizado se enfría parcialmente en el intercambiador 216 de calor mediante el lodo deshidratado entrante, y el calor recuperado calienta el lodo entrante antes de que el lodo se dirija al reactor 214. Este enfoque de intercambio de calor "de lodo a lodo" puede reducir la energía requerida para la producción de vapor y de ese modo el coste de la hidrólisis y acondicionamiento del lodo para digestión anaeróbica.

El intercambiador 216 de calor se opera como un intercambiador de calor a contraflujo. Véase la Figura 3. Esto significa que los dos fluidos, lodo deshidratado entrante y lodo hidrolizado caliente, fluyen a través del intercambiador 216 de calor en direcciones generalmente opuestas. En el caso presente, el lodo hidrolizado caliente del reactor 214 de hidrólisis fluye hacia abajo a través del intercambiador 216 de calor y transfiere calor al lodo deshidratado entrante, que fluye hacia arriba a través del intercambiador de calor. En una realización, el intercambiador 216 de calor es un intercambiador de calor de tubos en carcasa tal como se ha ilustrado en la Figura 3. El intercambiador 216 de calor, en esta realización, comprende una carcasa tubular 217 alargada, verticalmente orientada en la que la entrada del lodo 228 hidrolizado se configura para recibir el lodo desde el reactor 214 y dirigir el lodo al interior de la carcasa 217 del intercambiador de calor. La salida 226 de lodo hidrolizado se configura para recibir lodo hidrolizado que haya fluido en general hacia abajo en el mismo y descargar el lodo hidrolizado parcialmente enfriado. Parcialmente incluidos en el intercambiador 216 de calor hay uno o más tubos 219 en general paralelos dispuestos dentro de, y en general paralelos con, la carcasa 217 de modo que los tubos se extienden generalmente desde las partes inferiores a las superiores del intercambiador de calor. Cada tubo 219 tiene extremos opuestos que están en comunicación para fluidos, respectivamente con la entrada 222 de lodo deshidratado y la salida 224 de lodo deshidratado del intercambiador 216 de calor. La entrada 222 de lodo deshidratado se configura para recibir el lodo deshidratado entrante y para dirigir el lodo al interior de los extremos inferiores de los tubos 219.

La salida 224 de lodo deshidratado se configura para recibir el lodo deshidratado calentado desde los extremos superiores de los tubos 219 y para descargar el lodo hacia el reactor 214. En algunas realizaciones, el intercambiador 216 de calor puede estar al menos ligeramente inclinado respecto a la orientación vertical para mejorar la transferencia de calor entre el lodo en bruto próximo a las superficies del tubo y el lodo caliente entre superficies de las columnas. Se ha observado que en algunos casos la orientación vertical del intercambiador 216 de calor puede dar como resultado la formación de capas límite alrededor de los tubos 219. Las capas límite alrededor de los tubos 219 tienden a aislar los tubos de lodo hidrolizado más caliente entre los tubos. La inclinación del intercambiador 216 de calor promueve la mezcla de lodo hidrolizado en el exterior de los tubos 219, impidiendo en general la formación de capas límite alrededor de los tubos y mejorando la transferencia de calor desde el lodo hidrolizado a través de las paredes del tubo al lodo deshidratado más frío que fluye en general hacia arriba dentro de los tubos. Se ha observado adicionalmente que el ángulo de inclinación relativa a la vertical puede ser ventajosamente como mucho de aproximadamente 15°.

El intercambiador 216 de calor está, como se ha descrito anteriormente, orientado en general verticalmente de modo que el lodo hidrolizado caliente desde el reactor 214 fluye en general hacia abajo en el intercambiador de calor mientras el lodo deshidratado más frío desde la tolva 12 se bombea en general hacia arriba a través del intercambiador de calor. Así, el lodo deshidratado entrante entra en el intercambiador 216 de calor en la parte inferior del mismo, fluye en general hacia arriba, y encuentra el lodo hidrolizado caliente que se alimenta al interior de la parte superior del intercambiador de calor y fluye en general hacia abajo en él. Esta disposición tiende a asegurar que cualquier materia de partícula en el lodo hidrolizado caliente se transporta a una parte inferior de la carcasa 217 del intercambiador de calor. La densidad de lodo hidrolizado puede cambiar también mientras el lodo está en el intercambiador 216 de calor debido, al menos en parte, al enfriamiento del lodo hidrolizado cuando entrega calor al lodo en bruto deshidratado. Puede observarse un incremento en la densidad de lodo hidrolizado de aproximadamente el 4 % - 8 % y puede crear un perfil de gravedad creciente desde la parte superior a la inferior en el intercambiador 216 de calor. Este perfil de la gravedad puede mejorar también la transferencia de calor entre el lodo hidrolizado caliente y el lodo deshidratado entrante.

Se observa que las presiones requeridas para una operación efectiva del reactor 214 hacen deseable tener una forma de proteger al reactor y, realmente, a todo el sistema, de las excursiones de presión típicas del uso de bombas de desplazamiento positivo tales como la bomba 14 y 56 en particular. El reactor 214 incluye una bolsa o sección de aire localizada en una parte superior del reactor que sirve como un medio compresivo para absorber o amortiguar los choques que pueden ser el resultado de excursiones de presión.

El procedimiento de hidrólisis implica la rotura de moléculas de cadena larga en moléculas más pequeñas, dando como resultado la evolución de una variedad de gases no condensables tales como dióxido de carbono y nitrógeno. Estos gases toman volumen en el reactor 214 lo que puede reducir el tiempo de residencia efectivo del lodo en el reactor, y los gases reducen la eficiencia del intercambio de calor en el sistema. La eliminación de estos gases no condensables puede ayudar a una operación eficiente del sistema. En consecuencia, la presente invención incluye la capacidad para ventilar el reactor 214 para liberar esos gases.

Para facilitar el control del sistema 100, y en particular del subsistema 200, se despliegan varios sensores en ellos. El sensor 16 de presión se instala en la línea 15 para detectar la presión, P1, del lodo deshidratado entrante. El sensor 22 de presión se instala en la línea 19 para detectar la presión, P2, del lodo entrante en el reactor 214 de hidrólisis. Se apreciará que la diferencia de presión,  $\Delta P = P1 - P2$ , representa en general la pérdida de presión en los tubos 219 del intercambiador de calor 216. En algunas realizaciones, esta diferencia de presión es la responsable de proporcionar el flujo del lodo en bruto, deshidratado entre una trayectoria del flujo en derivación del intercambiador 216 de calor y una trayectoria del flujo a través del intercambiador de calor en el camino hacia el reactor 214 de hidrólisis.

El sensor 58 de presión y el sensor 50 de temperatura se despliegan en el reactor 214 para detectar la presión, P3, y la temperatura, T3, del reactor durante la operación. La presión, P3, en el reactor 214 se mantiene en un nivel de punto de consigna deseado por la bomba 56 de control basándose en un punto de consigna de presión en el que puede ajustarse la tasa de bombeo para mantener la presión del sistema y de ese modo la presión en el reactor. El punto de consigna de presión para P3 puede calcularse a partir de la temperatura del reactor para impedir la ebullición. Se añade un margen de seguridad requerido a la presión de ebullición calculada para producir el punto de consigna para la presión en el reactor 214. El suministro de vapor por el generador 212 de vapor a la línea 25 está controlado por la válvula 24 basándose en T3.

Pasando ahora al sistema 250 de acondicionamiento de lodos, el sistema puede incluir un intercambiador 270 de calor para precalentamiento del agua de alimentación para el generador 212 de vapor tal como se describe a continuación. Cuando está presente, el intercambiador 270 de calor puede servir también para enfriar el lodo hidrolizado caliente suministrado desde el reactor 214 de hidrólisis a través de la línea 29. El lodo hidrolizado y parcialmente enfriado se dirige desde el intercambiador 270 de calor a través de la línea 59 a la unidad 280 de intercambiador de calor de enfriamiento de lodos, que puede ser en una realización una unidad de intercambiador de calor del agua de alimentación de caldera en bucle presurizado. El lodo hidrolizado se dirige desde la unidad 280 de intercambiador de calor a través de la línea 63 a una bomba 56 de flujo variable, desplazamiento positivo, cuya contrapresión puede modularse para mantener la presión del sistema y por ello la presión en el reactor 214. Al

mismo tiempo la bomba 56 suministra el lodo hidrolizado caliente al digestor 120 aeróbico. (Véase la Figura 1.)

Incluida adicionalmente en el sistema 250 de acondicionamiento hay una unidad 70 de dilución. La unidad 70 de dilución recibe agua de dilución, en una realización desde una fuente externa, a través de la línea 71 y bomba 72. La dilución es un medio para reducir la concentración de sólidos secos en el lodo tal como se requiere por el digestor 120. Típicamente, el agua de dilución recibida puede ser agua de residuos tratada pasteurizada, que está generalmente sustancialmente más fría que el lodo. Por lo tanto, cuando se añade agua de dilución, no solo reduce la concentración de sólidos en el lodo sino que también reduce la temperatura del lodo hidrolizado. El agua de dilución desde la bomba 72 se dirige a una válvula 74 de control de flujo de tres vías, que puede repartir el flujo de agua de dilución entre las líneas 75 y 77. El flujo a través de las líneas 75 y 77 —y de ese modo el reparto por medio de la válvula 74 de control— se elige en cada caso para cumplir con los puntos de consigna de temperatura de los sensores 52 y 54. Se apreciará, entonces, que la unidad 70 de dilución puede servir tanto para ajustar la temperatura del lodo hidrolizado durante el paso como para ajustar el porcentaje de sólidos secos en él. En algunas realizaciones, el lodo hidrolizado puede calentarse mediante el calentamiento del agua de dilución previamente a dirigir el agua de dilución al interior del lodo. Por ejemplo, puede emplearse durante una fase de arranque del reactor el calentamiento del agua de dilución usando agua de caldera suministrada al intercambiador 290 de calor. Para dichas realizaciones, el agua de dilución se dirige a través del intercambiador 290 de calor y se calienta por el agua de caldera suministrada a través de la bomba 78 previamente a ser dirigida al lodo. En dichas realizaciones, la válvula 20 puede omitirse permitiendo así un flujo generalmente continuo de lodo deshidratado a través del intercambiador 216 de calor. En dichas realizaciones, el flujo generalmente continuo de lodo deshidratado a través del intercambiador 216 de calor puede dar como resultado sobre-enfriamiento del lodo hidrolizado que entra en la línea 29, y la inyección de agua de dilución calentada proporciona un calentamiento adicional del lodo hidrolizado según sea necesario.

Como se ha explicado anteriormente, el agua de dilución puede añadirse para ajustar el contenido de sólidos secos del lodo hidrolizado calentado a un nivel deseado para la digestión anaeróbica. Como también se ha explicado anteriormente, en general, la adición de agua de dilución puede servir para enfriar o calentar adicionalmente el lodo hidrolizado calentado. Bajo ciertas condiciones, por ejemplo, el agua de dilución es bastante fría. En estas situaciones es también común que el lodo deshidratado esté de la misma forma bastante frío. Bajo estas condiciones, como se ha explicado anteriormente, la entrada de lodo deshidratado puede, durante al menos un periodo durante el arranque, ser derivada fuera del intercambiador 216 de calor para impedir el sobre-enfriamiento del lodo hidrolizado calentado que se descarga desde el reactor 214. Una realización de la presente invención puede acometer dichas situaciones de arranque mediante el calentamiento del agua de dilución, como se ha descrito anteriormente, de modo que la inyección de agua de dilución puede incrementar la temperatura del lodo hidrolizado. Esto puede permitir la reducción de la cantidad de lodo deshidratado que se deriva del intercambiador 216 de calor, permitiendo de ese modo la reducción del vapor requerido desde el generador 212 de vapor a costa de algún sobre-enfriamiento del lodo hidrolizado en el paso a través del intercambiador 216 de calor. Este sobre-enfriamiento puede compensarse mediante la inyección del agua de dilución calentada en el lodo hidrolizado que fluye desde el intercambiador 216 de calor. En condiciones de arranque, esta característica puede ser ventajosa incluso aunque pueda dar como resultado alguna sobre-dilución transitoria del lodo hidrolizado que entra en el digestor 120. Dicha sobre-dilución transitoria puede ser aceptable debido a un coste más bajo del calentamiento del agua de dilución en comparación con el coste de la generación de vapor. Sin embargo, en situaciones en las que el agua de dilución ambiente y/o las temperaturas del lodo deshidratado pueden ser suficientemente calientes, los procedimientos pueden llevarse a cabo de modo efectivo mediante la derivación selectiva del lodo deshidratado fuera del intercambiador 216 de calor.

Como se ha explicado anteriormente, el intercambiador 270 de calor, cuando se usa, precalienta el agua de alimentación para el generador 212 de vapor. Puede incluirse una unidad 260 de tratamiento de agua para el tratamiento de agua para servir como el agua de alimentación para el generador 212 de vapor. Se trata el agua, que puede suministrarse desde una fuente exterior a la unidad 260 de tratamiento de agua, para hacer al agua adecuada para su uso en el generador 212 de vapor. El agua puede dirigirse al generador 212 de vapor a través de la línea 53, intercambiador 270 de calor, y línea 55. Se apreciará que en el precalentamiento del agua de alimentación para el generador 212 de vapor, el intercambiador 270 de calor puede enfriar también el lodo hidrolizado caliente que se suministra desde el reactor 214. Como se ha hecho notar anteriormente, el sistema 100 puede operarse sin el generador 212 de vapor y el intercambiador 270 de calor cuando se elige usar una fuente de vapor alternativa.

La unidad 280 de intercambiador de calor incluye, en una realización, un primer intercambiador 280A de calor y un segundo intercambiador 280B de calor. Los intercambiadores 280A y 280B de calor se interconectan mediante el bucle 87 en el que circula agua mediante la bomba 82 de flujo variable. Se hace referencia a veces a esta disposición como un intercambiador de calor de bucle presurizado. Se aprecia que el intercambiador 280A de calor funciona para enfriar, según sea necesario, el lodo hidrolizado. La temperatura del agua en el bucle 87 puede modularse para proporcionar el enfriamiento deseado del lodo hidrolizado que pasa a través del intercambiador 280A de calor. La temperatura del agua del bucle 87 puede modularse mediante el calentamiento del agua de residuo tratada en el intercambiador 280B de calor. El agua de residuo tratada se calienta y el agua del bucle 87 se enfría en el intercambiador 280B de calor. Véase la Figura 2. El agua de residuo tratada puede admitirse al intercambiador 280B de calor a través de la línea 91, a través de la bomba 88 de flujo variable y de ahí a través de la línea 93. El agua de residuo tratada desde el intercambiador 280B puede dirigirse a través de la línea 95 a un

- 5 drenaje 84. Se apreciará que la temperatura del agua de residuo tratada que se descarga desde el intercambiador de calor se mantiene por debajo de una cierta temperatura máxima (por ejemplo, aproximadamente 45 °C) para impedir incrustaciones. El agua del bucle 87 se enfría en el intercambiador 280B y el agua del bucle se circula entre el intercambiador y el intercambiador 280A de calor para enfriar el lodo hidrolizado. En una realización, la temperatura del agua del bucle 87 puede modularse mediante la inyección de agua de caldera al interior del bucle. El agua de caldera, que puede admitirse a través de una fuente exterior adecuada, se conduce a través de la línea 83 a través de una bomba 86 de agua de caldera de flujo variable y de ahí a través de la línea 85 al interior del bucle 87. El agua puede descargarse desde el bucle 87 a través de la línea de sangrado 89 para ser utilizada en cualquier otro lado. La utilización del calentamiento de agua de caldera es opcional y puede usarse cuando hay una necesidad próxima para calentamiento fuera del sistema. Por ejemplo, cuando hay partes de otros espacios próximos o con tratamientos próximos o sistemas de procesamiento que requieran calor, la característica de calentamiento del agua de caldera puede añadirse tal como se muestra en la Figura 2. Se ha observado que cuando se emplea calentamiento del agua de caldera, es generalmente la primera prioridad a ser comprometida cuando se requiere enfriamiento por el intercambiador 280 de calor.
- 10
- 15 Se incluyen varios sensores en el sistema 250 de acondicionamiento. Se instala un sensor 52 de temperatura en la línea 29 para detectar la temperatura del lodo hidrolizado, T1, cuando el lodo entra en el sistema 250 de acondicionamiento. Se instala un sensor 54 de temperatura en la línea 63 para detectar la temperatura, T2, del lodo hidrolizado cuando se dirige al digestor 120. Se localiza un sensor 62 de temperatura en la línea 89 de sangrado para detectar la temperatura, T5, del agua del bucle 87. Se localiza un sensor 64 de temperatura en la línea 95 para detectar la temperatura, T6, del agua de residuo calentada descargada desde el intercambiador 280B de calor. Se instalan sensores 66, 68 y 76 de flujo para detectar los caudales del lodo hidrolizado acondicionado, F1, al interior del digestor 120, agua de alimentación del generador de vapor, F2, desde la unidad 260 de tratamiento, y agua de dilución, F3, a través de la línea 71, respectivamente. Adicionalmente, la velocidad, Hz14, de la bomba 14 es una variable del sistema como lo es la caída de presión  $\Delta P = P1 - P2$ .
- 20
- 25 Los sensores descritos anteriormente proporcionan datos variables del sistema que pueden usarse para supervisar y controlar el sistema 100, y particularmente el subsistema 200, por medio de varias bombas de flujo variable y válvulas explicadas anteriormente. El objeto general del enfoque de control es suministrar lodo hidrolizado al digestor 120 de modo que el lodo esté en o cerca de la temperatura y porcentaje de niveles de sólidos secos especificados. Estos niveles son seleccionables basándose en el conocimiento de la composición del lodo en bruto y otras condiciones ambientales. En la implementación del sistema de control, se establecen varios valores de punto de consigna, algunos de los cuales se han referenciado anteriormente. Para finalidades de descripción del sistema de control, se listan los símbolos para las variables del sistema y puntos de consigna asociados en la Tabla I. La Tabla II proporciona valores típicos de los puntos de consigna y constantes seleccionados.
- 30

Tabla I	
Variables y puntos de consigna del sistema	
Variable	Punto de consigna
F1	F1SET
F2	F2SET
F3	F3SET
Hz14	Hz14SET
P1	P1SET
P2	P2SET
$\Delta P$	$\Delta PSET$
P3	P3SET
T1	T1SET
T2	T2SET1, T2SET2
T3	T3SET
T4	T4SET
T5	T5SET
T6	T6SET

Tabla II	
Valores típicos para puntos de consigna y constantes seleccionados	
Punto de consigna o constante	Valor típico
F3SET	$F1 \times (1 - DSOUT/DSIN) - F2$

(continuación)

Tabla II	
Valores típicos para puntos de consigna y constantes seleccionados	
Punto de consigna o constante	Valor típico
ΔPSET	4 bar
P3SET	$T3^4 \times 10^{-8} + 1$
T1SET	100 °C
T2SET1	43 °C
T2SET2	50 °C
T3SET	165 °C
T5SET	45 °C
DSOUT	10 %
DSIN	25 %
K2T2	60 segundos
K2T3	60 segundos
K4T2	60 segundos
K5T2	60 segundos
K6T2	60 segundos
Kt	2 horas
K1T2	60 segundos
K3T2	60 segundos
K3T3	60 segundos
K7T2	60 segundos

5 Para una descripción de los procedimientos implicados en el sistema 100 de control, puede ser instructivo considerar una situación de procedimiento típica en la que se ha de tratar lodo deshidratado desde la tolva 12. Con finalidades de ilustración se describirá una realización en la que la gestión del arranque incluye el control del reparto del flujo de lodo deshidratado entre el intercambiador 216 de calor y al reactor 214. El lodo deshidratado, como se ha hecho notar anteriormente, puede incluir sólidos secos en un intervalo de 20 % - 30 % (en peso), y la temperatura del lodo puede estar en un intervalo de aproximadamente 5 a aproximadamente 40 °C. Un objetivo del tratamiento es entregar un flujo generalmente continuo de lodo hidrolizado a 30 - 60 °C y 6 % - 14 % (en peso) de sólidos secos al digester 120 anaeróbico. Como se ha explicado anteriormente, se necesita una etapa o modo inicial o de arranque del procedimiento de tratamiento para establecer el procedimiento. Para iniciar el modo de arranque, se accionan las válvulas 18 y 20 a totalmente abiertas por el sistema de control y se activa la bomba 88 para funcione a su velocidad mínima tal como se ha descrito anteriormente. La bomba 56 de lodos se energiza y opera para bombear líquido desde el digester 120 al sistema 100 para establecer la presión del sistema. El líquido bombeado desde el digester 120 para el ajuste de presión del sistema puede ser desde una carga inicial del digester con agua o lodo, habiendo sido calentada la carga inicial en el digester. Es bien conocido cargar digestores con líquido y calentar el líquido antes de admitir lodo hidrolizado para la digestión y producción de biogás. La inyección de vapor dentro del reactor 214 se comienza con un nivel mínimo. Como se ha explicado anteriormente, la bomba 88 se mantiene en operación con un flujo mínimo (incluso cuando el resto del sistema no está funcionando) para impedir la corrosión por picadura en el intercambiador de calor. Cuando T3 se está aproximando al punto de consigna, T<sub>3SET</sub>, la bomba 14 se arranca junto con la bomba 72 para comenzar la admisión de lodo deshidratado y para activar el sistema de agua de dilución. La bomba 14 se acciona entonces continuamente a su velocidad mínima hasta que todo el sistema esté calentado y T2 esté próxima a T<sub>2SET</sub>. Posteriormente, se permite regular la velocidad Hz14 de la bomba 14 hasta su punto de consigna, Hz14SET. De la misma forma, puede usarse la válvula V4 según sea necesario para controlar la admisión de vapor al interior del reactor 214. El control de la admisión de vapor al reactor 214 se basa en una temperatura de operación deseada, T<sub>3SET</sub>, en el reactor y la temperatura del reactor real, T3, tal como se detecta por el sensor 50 de temperatura.

30 El lodo deshidratado entrante puede ser bastante viscoso debido tanto a la temperatura de lodo relativamente baja como a la concentración de sólidos secos contenidos en él. Durante el arranque, debido a la viscosidad del lodo entrante, la mayor parte o una mayoría del lodo deshidratado entrante deriva el intercambiador 216 de calor y fluye al interior del reactor 214 de hidrólisis, fluyendo una parte más pequeña del lodo en bruto al intercambiador de calor. Cuando el lodo hidrolizado caliente fluye desde el reactor 214 al interior del intercambiador 216 de calor, la parte más pequeña del lodo deshidratado entrante que pasa a través del intercambiador de calor se calienta. Esto provoca que la resistencia al flujo a través de los tubos 219 del intercambiador de calor disminuya gradualmente, reduciendo



gradualmente la diferencia de presiones,  $\Delta P$ , detectadas por los sensores 16 y 22, y disminuyendo gradualmente el flujo de derivación del lodo en favor del flujo a través de los tubos 219 del intercambiador de calor. Cuando se reduce gradualmente  $\Delta P$ , la válvula 18 (V1) se cierra gradualmente de modo que cuando  $\Delta P$  alcanza un nivel aceptable la válvula está totalmente cerrada para producir una condición de estado en general estable cuando todo o sustancialmente todo el lodo deshidratado entrante pasa a través del intercambiador 216 de calor antes de entrar en el reactor 214. De esta forma, una parte del calor añadido en la hidrólisis se recupera y usa para calentar, o para precalentar, el lodo deshidratado entrante. En el procedimiento, el lodo hidrolizado se enfría parcialmente antes de entrar en el sistema 250 de acondicionamiento. En una condición típica de estado generalmente estable, la temperatura del lodo justamente antes de mezclarse con el vapor del generador 212 de vapor es de aproximadamente 85 °C – 110 °C. Esto es el resultado de que el lodo entrante se calienta por el intercambiador 216 de calor. El lodo hidrolizado sale del reactor 214 de hidrólisis a aproximadamente 140 - 165 °C, aproximadamente 10 bar, y aproximadamente 17 – 27 % de sólidos secos. La temperatura del lodo, T1, se disminuye a aproximadamente 80 - 110 °C cuando entra en el sistema 250 de acondicionamiento.

La inyección de agua de dilución puede reducir adicionalmente la temperatura del lodo hidrolizado así como reducir la concentración de sólidos en el lodo hidrolizado. El agua de dilución puede dirigirse a través de la válvula 74 para diluir el lodo en las líneas 29 y 63 a través de las líneas 77 y 75, respectivamente. La bomba 72, activada cuando se activa la bomba 14, se regula basándose en T2 con relación a T2SET y basándose en F3 con relación a F3SET. La válvula 74 se regula basándose en la T1 con relación a T1SET. Cuando T1 está por debajo de T1SET, no se admite agua de dilución a través de la línea 77 a la línea 29. Por el contrario, se admite toda el agua de dilución bajo esta condición a través de la línea 75 a la línea 63. Bajo otra condición, cuando T1 está por encima de T1SET, la válvula 74 puede actuarse para dirigir más agua de dilución a través de la línea 77 a la línea 29 hasta que T1 cae por debajo de T1SET. El caudal de agua de dilución, F3, dentro del sistema es controlada basándose en la concentración de sólidos secos en la tolva 12, siendo dirigida una concentración de sólidos secos deseada de lodo hidrolizado acondicionado al digestor 120, un caudal medido (F1) de lodo al digestor, y un valor medio amortiguado de caudal medido de agua (F2) al generador 212 de vapor. La bomba 72 de agua de dilución se regula basándose en el control de F3 con relación a F3SET.

La inyección de agua de dilución al interior de la línea 29 puede reducir también la temperatura del lodo cuando entra en el intercambiador 270 de calor, si se requiere, a aproximadamente 100 °C. El precalentamiento, en el intercambiador 270 de calor, del agua de alimentación para el generador 212 de vapor puede enfriar también el lodo hidrolizado. Por ejemplo, cuando se usa el intercambiador 270 de calor, el agua tratada proporcionada a través de la línea 53 puede estar a aproximadamente 8 °C, y en el calentamiento del agua de residuo la temperatura del lodo puede caer a aproximadamente 70 - 90 °C. Cuando el lodo ha pasado en el intercambiador 280A de calor, que no está aún activo en el lado secundario, puede añadirse agua de dilución adicional a través de la línea 75 si se requiere. La temperatura, T<sub>2</sub>, del lodo diluido se incrementa durante el arranque, y cuando T<sub>2</sub> alcanza su T2SET dentro de un margen dado puede considerarse completada la fase de arranque y el sistema cambia a operación normal. Durante la operación normal T<sub>2</sub> se controla con relación a T2SET mediante la regulación de la válvula 20 (V2). La bomba 86, bomba 82 y bomba 88 se regulan de la misma forma basándose en T<sub>2</sub> con relación a T2SET. Cuando la operación en estado estable da como resultado un lodo hidrolizado en la línea 59 que tiene una temperatura cerca del extremo inferior del intervalo 70 - 90 °C, o aproximadamente 70 °C, la refrigeración adicional necesaria se lleva a cabo generalmente solamente por dilución. En consecuencia, en dichos casos, las bombas 82 y 86 se detienen, y la bomba 88 se reduce, si es necesario, a la velocidad mínima requerida para impedir la corrosión de las superficies de la unidad 280B de intercambiador de calor mientras la unidad no se está usando para enfriar lodo. Cuando la operación en estado estable da como resultado que T1 está cerca del extremo alto del intervalo aproximado 70 - 90 °C, o aproximadamente 90 °C, la refrigeración suficiente del lodo no puede llevarse a cabo en general de modo eficiente solo por la dilución. En este caso, la bomba 86 pueden energizarse para proporcionar agua de caldera a aproximadamente 40 °C para el bucle 87 de la unidad 280 de intercambiador de calor, y puede regularse la bomba 88 basándose en T6 con relación a T6SET para proporcionar el flujo necesario de agua de residuo tratado para refrigeración adicional, dando como resultado una disminución de aproximadamente 70 °C en la temperatura del lodo hidrolizado cuando el lodo pasa a través del intercambiador 280A de calor. La temperatura puede reducirse adicionalmente a aproximadamente 40 °C mediante dilución como se ha descrito anteriormente. A temperaturas del lodo dentro del intervalo de 70 - 90 °C, la tasa de eliminación de calor o refrigeración por la unidad 280 de intercambio de calor puede modularse mediante el control de las bombas 82, 86 y 88 informadas por T2, T5 y T6 con relación a sus puntos de consigna T2SET, T5SET y T6SET respectivos.

Como se ha explicado anteriormente, en una realización el agua de dilución puede calentarse e inyectarse para calentar el lodo hidrolizado previamente a que el lodo se dirija al digestor 120. Hacer esto puede ser ventajoso bajo ciertas condiciones de arranque y operación muy frías en donde altos niveles de derivación del lodo entrante alrededor del intercambiador 212 de calor podrían dar como resultado su eficiencia de operación reducida. Se apreciará que el procedimiento de control puede modificarse directamente por un experto en la tecnología de control para efectuar esta realización como una característica opcional del sistema 100.

Se apreciará que puede no ser necesario usar todo el lodo calentado desde la hidrólisis para precalentar el lodo entrante. Puede incorporarse una línea de derivación opcional automáticamente controlada para permitir que el lodo calentado se use aguas abajo en conexión con la dilución si se requiere por el digestor 120 y no es alcanzable por los procedimientos descritos anteriormente.

Se ilustra en las Figuras 4A, 4B y 4C una realización de un sistema de control, y la lógica del sistema de control se indica en general por el número 400. Esta realización implementa la gestión de arranque mediante el control del reparto del flujo de lodo deshidratado entre el intercambiador 216 de calor y el reactor 214. La lógica 400 del sistema de control implementa controles PID de bombas y válvulas como apreciarán los expertos en la materia de sistemas de control. Se incluye en el sistema de control 400 una serie de indicadores de estado y constantes, seleccionados basándose en las condiciones y objetivos de operación generales como se apreciará comúnmente. Los indicadores de estado K1, K2 y K3 se fijan a 0 o 1 para indicar el estado de regulación de varias válvulas y bombas. Las constantes  $K_{2T_2}$ ,  $K_{2T_3}$ ,  $K_{4T_2}$ ,  $K_{5T_2}$ , y  $K_{6T_2}$  son valores de tiempo que se utilizan para proporcionar un periodo de tiempo durante el que se evalúa un criterio de comparación particular. Estas constantes pueden tener valores cerca de la unidad, bien ligeramente por encima o bien ligeramente por debajo de 1 permiten la operación estable con el fin de pruebas de varias variables del sistema con relación a sus puntos de consigna respectivos. La constante  $K_t$  es de la misma forma un valor de tiempo utilizado en la prueba de sí un evento no ocurre en un periodo de tiempo establecido para determinar si un elemento del sistema requiere regulación. Estos valores de tiempo pueden ser típicamente cada uno de aproximadamente 2 segundos. Las constantes  $K_{1T_2}$ ,  $K_{3T_2}$ ,  $K_{3T_3}$  y  $K_{7T_2}$  permiten realizar un evento antes de que se alcance plenamente un punto de consigna, o retardar un evento hasta que se haya excedido un punto de consigna con un margen dado. Estas últimas constantes son cantidades adicionales siendo típicamente cada una de aproximadamente 1 o más teniendo particularmente un valor que puede ser desde aproximadamente 0,96 a aproximadamente 1,04. Los indicadores de estado y constantes proporcionan así señalización y soportan la estabilidad del sistema de control. Adicionalmente, los expertos en la materia apreciarán que estas constantes se despliegan en el sistema 400 para evitar la detención y arranque muchas veces de motores con cortos intervalos y el ciclo térmico que puede tener lugar en el caso de dichos cortos intervalos. Se emplea una constante adicional, Hz14min, para establecer una velocidad de operación mínima de la bomba 14 para asegurar una alimentación continua de lodo.

En consecuencia, el sistema 400 incluye nueve reguladores PID indicados en las Figuras 4A, 4B, y 4C por los números 410, 420, 425, 430, 440, 450, 460, 470, y 480. Cada uno de estos reguladores PID regula o bien una bomba o bien una válvula basándose en una o más variables del sistema y sus valores de punto de consigna respectivos. Se apreciará que el regulador 480 PID aparece en dos lugares virtuales en la Figura 4C, aunque es un regulador. La colocación se utiliza para simplificar el diagrama. Como un ejemplo, el regulador 410 controla la velocidad y dirección de la bomba 56. Se recordará de la explicación anterior, que durante el modo de arranque del sistema, la bomba 86 puede bombear realmente en una dirección invertida para bombear lodo desde el digestor 120 para fijar la presión del sistema. Como se observa en la Figura 4A, al regulador 410 PID controla la bomba 56 basándose en P1 con relación a P1SET. De modo similar, como otro ejemplo, el regulador 480 PID controla el estado de la válvula 18 (V1) basándose en  $\Delta P$  con relación a  $\Delta PSET$ . Como se apreciará por los expertos en la materia del uso de reguladores o controladores PID, es necesario en general el ajuste de los pesos relativos del control proporcional, integral y diferencial y puede llevarse a cabo de acuerdo con cualquiera de varios procedimientos conocidos.

Aunque el control PID de las válvulas 18 y 20 (V1 y V2) podría llevarse a cabo completamente con controladores PID, la naturaleza del sistema presente hacer práctico usar una combinación de control PID e incremental. El control incremental se muestra en los bloques 435, 436 y 437. Realmente, solo se pide control incremental para el caso de la válvula 20 (V2). V2 se regula mediante incrementos en el bloque 435 bajo una condición tal como la indicada por los bloques de decisión 411, 415, 416, 417, 418, 419, 421, 422, 423, 424, 425, 427, 428, y 429 que tienen un conjunto particular de señales de control de salida. De la misma manera, V2 se regula en el bloque 437 mediante la disminución, tal como se ha indicado por la misma cadena de decisión pero cuando la decisión en el bloque 429 es diferente del caso en el que tiene lugar el incremento de V2 y cuando el bloque de decisión 431 determina que la válvula 18 (V1) está totalmente abierta.

A partir de la explicación anterior, es evidente que la lógica de control 300 del sistema incluye una serie de bloques de decisión, incluyendo además de aquellos a los que se ha hecho referencia anteriormente, el bloque 426 de decisión. Cada bloque de decisión implementa una elección particular de etapas de acción de control basándose en un criterio anunciado en el bloque aplicado a un valor de variable de control particular. Por ejemplo, el bloque 426 de decisión responde a la cuestión: "¿Ha estado T3 por encima de la temperatura T3SET multiplicada por K3T3 durante un tiempo mayor que K2T3?" La respuesta a esta cuestión determina efectivamente si la temperatura del reactor 214 está aproximándose al valor deseado. Si T3 está próxima a T3SET, se arrancan las bombas 14 y 72 como se indica en el bloque 432 de acción de control y las etapas de control a través de los bloques 433, 434 y 480 de vuelta al bloque de control 410. Si T3 no está suficientemente próxima a T3SET, las bombas 14 y 72 no se arrancan. Por el contrario el control pasa de vuelta al bloque 410.

A partir de la explicación anterior es evidente que la lógica 300 incluye, además de los reguladores o controladores PID, una serie de bloques de acción de control. Estos incluyen los bloques 401, 402, 412, 413, 414, 438, 439, 441 entre otros. Como un ejemplo, se ha explicado anteriormente el bloque 432 de acción de control. Como otro ejemplo, el bloque 414 de acción de control fija el indicador de estado K3 al valor 1 para indicar que se ha arrancado el generador 212 de vapor. Como se apreciará por los expertos en la materia, la lógica 300 puede entenderse en el contexto de un programa que se hace funcionar sobre un ordenador con interfaz con los elementos físicos representados por los bloques en el diagrama lógico. Dicha interfaz permite al ordenador controlar, por ejemplo, para incrementar un motor asociado con la válvula 20 (V2) para incrementar o disminuir la válvula. Adicionalmente, el

5 programa funciona en un bucle digital, pasando a través de la lógica en ciclos repetidos. En cada paso, la lógica dirige las acciones basándose en las decisiones alcanzadas en cada bloque de decisión cuando es alcanzado en un ciclo. Dichas decisiones dirigen el curso de las etapas del programa junto con las diferentes ramificaciones de la lógica basándose en las decisiones de cada punto. La repetición del ciclo de control se repite continuamente siempre que el sistema esté funcionando. A partir de las Figuras 4A, B y C, se aprecia que se puede considerar el bucle de control comenzando en el bloque 410 y trazando a través de la lógica de acuerdo con las decisiones en los bloques de decisión encontrados finalizando el ciclo mediante el paso del control de vuelta al bloque 410 desde donde comienza el ciclo siguiente.

10 Se apreciará que existen dentro del alcance de la presente invención realizaciones alternativas que representan varios enfoques para controlar la temperatura del lodo. Una realización, como se ha explicado anteriormente, incluye el calentamiento del agua de dilución como una alternativa al enfoque de control de temperatura del lodo. Usando modificaciones del sistema de control bien conocidas, puede configurarse la lógica de las Figuras 4A, 4C y 4C para implementar esta estrategia de control alternativa.

15 La presente invención, entonces, proporciona un procedimiento para tratar continuamente lodo deshidratado usando hidrólisis con una serie de subprocedimientos de enfriamiento y dilución para proporcionar lodo hidrolizado a una temperatura y contenido de sólidos secos óptimos para soportar una digestión anaeróbica efectiva del lodo. La aplicación de enfoques de control como se ha explicado en el presente documento proporciona el control del lodo hidrolizado a la temperatura óptima. La digestión anaeróbica, cuando se opera eficientemente con dicho sistema de control, proporciona una fuente de combustible como biogás.

20

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de tratamiento de lodos que comprende:
  - (a) deshidratar el lodo para incrementar los sólidos secos en el lodo al 20 % - 30 % en peso;
  - (b) dirigir el lodo deshidratado a un intercambiador (216) de calor orientado en general verticalmente, teniendo el intercambiador de calor una entrada (222) de lodo deshidratado colocada en una parte inferior del intercambiador de calor, una salida (224) de lodo deshidratado colocada en una parte superior del intercambiador de calor, una entrada (228) de lodo hidrolizado colocada en una parte superior del intercambiador de calor y una salida (226) de lodo hidrolizado colocada en una parte inferior del intercambiador de calor;
  - (c) dirigir el lodo deshidratado a la entrada (222) de lodo deshidratado y hacia arriba a través del intercambiador (216) de calor y fuera de la salida (224) de lodo deshidratado y al interior de un reactor (214) de hidrólisis;
  - (d) hidrolizar el lodo en el reactor (214) de hidrólisis;
  - (e) pasar el lodo hidrolizado al interior de la entrada (228) de lodo hidrolizado del intercambiador (216) de calor;
  - (f) proporcionar una transferencia de calor de lodo a lodo mediante la dirección del lodo hidrolizado hacia abajo a través del intercambiador (216) de calor a menudo que el lodo deshidratado se mueve hacia arriba y a través del intercambiador de calor;
  - (g) dirigir el lodo hidrolizado fuera de la salida (226) de lodo hidrolizado del intercambiador (216) de calor a un digestor (120) anaeróbico; y
  - (h) digerir anaeróbicamente el lodo hidrolizado en el digestor (120) anaeróbico.
2. El procedimiento de la reivindicación 1 que incluye dirigir una parte del lodo deshidratado alrededor del intercambiador (216) de calor y al reactor (214) de hidrólisis sin que el lodo deshidratado pase a través del intercambiador de calor.
3. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-2 que incluye dirigir el agua de dilución al interior del lodo hidrolizado para ajustar una proporción de materia seca en el lodo.
4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-3 que incluye calentar el agua de dilución y dirigir el agua de dilución calentada al interior del lodo hidrolizado para calentar el lodo hidrolizado.
5. El procedimiento de la reivindicación 4 en el que el agua de dilución calentada se dirige al interior del lodo hidrolizado durante un periodo de arranque en el procedimiento.
6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-5 que incluye dirigir el lodo hidrolizado al interior de una parte superior de un cilindro (217) y hacia abajo a través del cilindro; y dirigir el lodo deshidratado hacia arriba a través de una serie de conductos (219) espaciados que se extienden a través del cilindro, de modo que dé lugar a una transferencia de calor de lodo a lodo cuando se transfiere calor desde el lodo hidrolizado que pasa a través del cilindro al lodo deshidratado que pasa hacia arriba a través de los conductos en el cilindro.
7. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-6 que incluye calentar el reactor (214) de hidrólisis con vapor producido por un generador (212) de vapor; y dirigir el agua de alimentación del generador de vapor y el lodo hidrolizado a un intercambiador de calor dispuesto aguas abajo del reactor (214) de hidrólisis y reducir la temperatura del lodo hidrolizado mediante transferencia de calor desde el lodo hidrolizado al agua de alimentación del generador de vapor.
8. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-7 en el que el intercambiador (216) de calor generalmente vertical se inclina respecto a la vertical para incrementar la transferencia de calor desde el lodo hidrolizado al lodo deshidratado.
9. El procedimiento de la reivindicación 8 en el que el intercambiador (216) de calor se inclina aproximadamente 15° con relación a la vertical para impedir la formación de capas límites en el lodo hidrolizado alrededor de los tubos (219) dispuestos dentro del intercambiador de calor que conducen el lodo deshidratado a través del intercambiador de calor.
10. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-9 en el que el reactor (214) de hidrólisis incluye un sistema de venteo para ventilar gases no condensables desde el reactor de hidrólisis.
11. El procedimiento de la reivindicación 1 que comprende adicionalmente la etapa de:
  - variar el flujo de lodo deshidratado a través del intercambiador (216) de calor durante ciertos periodos de tratamiento del lodo mediante:
    - (i) durante el modo de arranque dirigir al menos una parte del lodo deshidratado a través de una línea (25) de derivación del intercambiador de calor y al reactor (214) de hidrólisis; y
    - (ii) durante un modo de estado estable, dirigir una mayoría del lodo deshidratado a través del intercambiador (216) de calor y a continuación al reactor (214) de hidrólisis.
12. El procedimiento de la reivindicación 11, que incluye durante una parte inicial del modo de arranque, dirigir

sustancialmente todo el lodo deshidratado a través de la línea (25) de derivación del intercambiador de calor al reactor (214) de hidrólisis.

- 5 13. El procedimiento de la reivindicación 12, que incluye adicionalmente, después de la parte inicial del modo de arranque, incrementar a lo largo del tiempo el flujo de lodo deshidratado a través del intercambiador (216) de calor y disminuir el flujo de lodo deshidratado a través de la línea (25) de derivación del intercambiador de calor durante el modo de arranque.
14. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 11-13, que incluye adicionalmente durante un periodo seleccionado del modo de estado estable, dirigir sustancialmente todo el lodo deshidratado a través del intercambiador (216) de calor previamente a alcanzar el reactor (214) de hidrólisis.
- 10 15. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 11-13, que incluye durante el modo de estado estable, incrementar la temperatura del lodo hidrolizado dirigido al digestor (120) anaeróbico mediante la disminución del flujo de lodo deshidratado a través del intercambiador (216) de calor e incrementar el flujo de lodo deshidratado a través de la línea (25) de derivación del intercambio de calor.
- 15 16. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 11-15 que incluye dirigir agua de dilución al interior del lodo hidrolizado para el ajuste de una proporción de materia seca en el lodo.
17. El procedimiento de la reivindicación 16 en el que dirigir el agua de dilución al interior del lodo hidrolizado incluye el calentamiento del agua de dilución antes de dirigir el agua de dilución al interior del lodo y el calentamiento del lodo con el agua de dilución calentada.

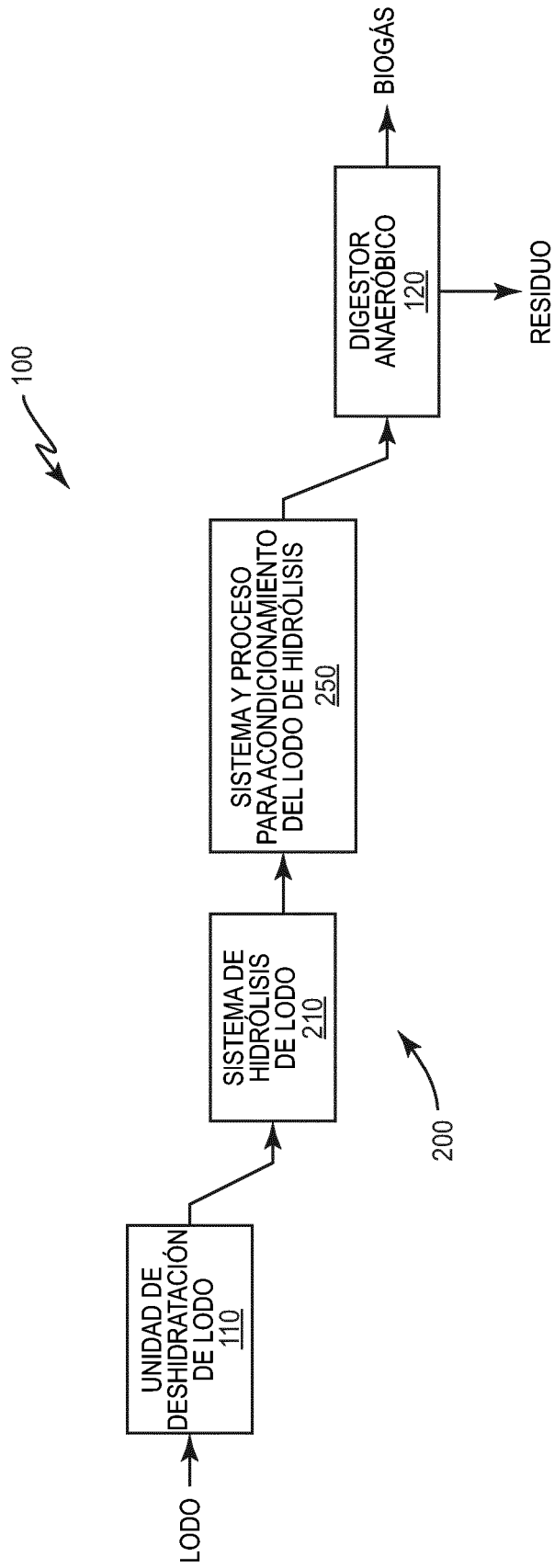


FIG. 1

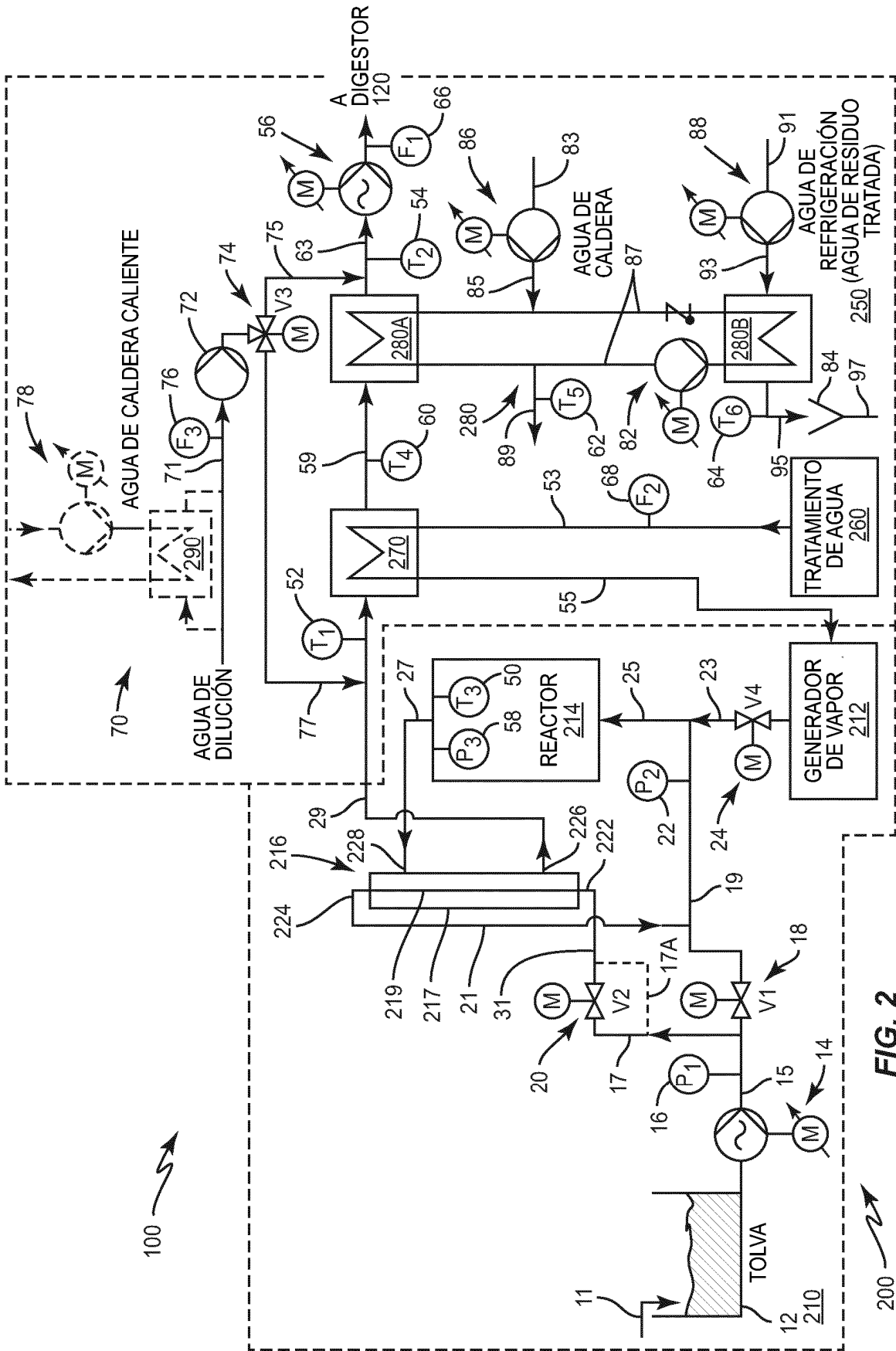
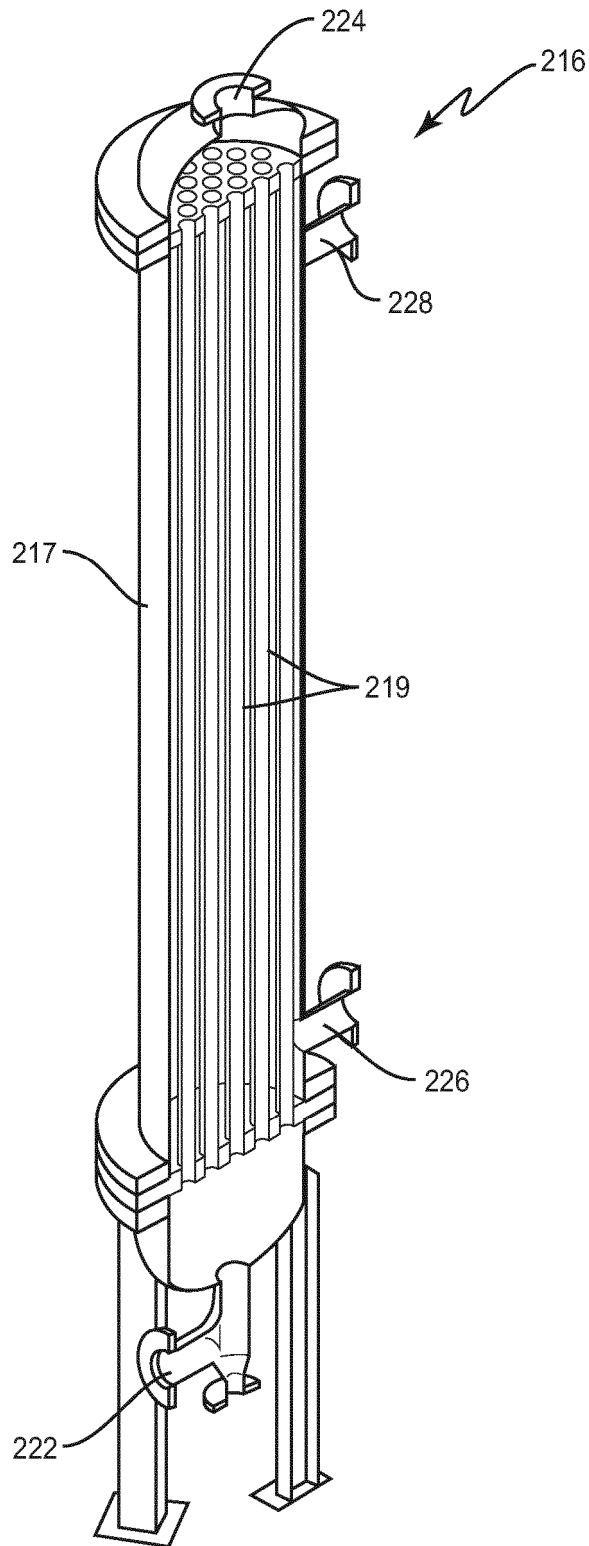


FIG. 2



**FIG. 3**



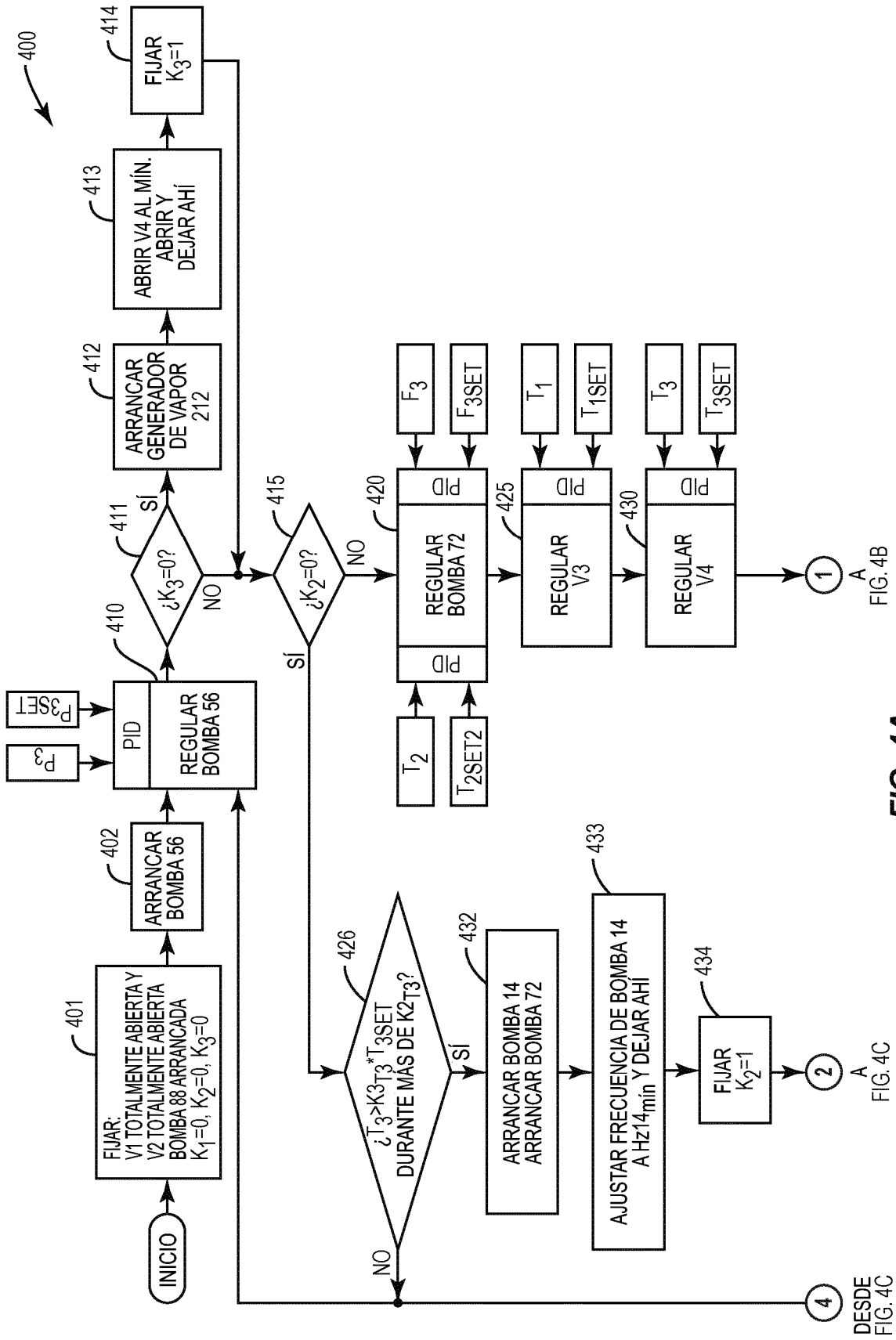


FIG. 4A

FIG. 4C

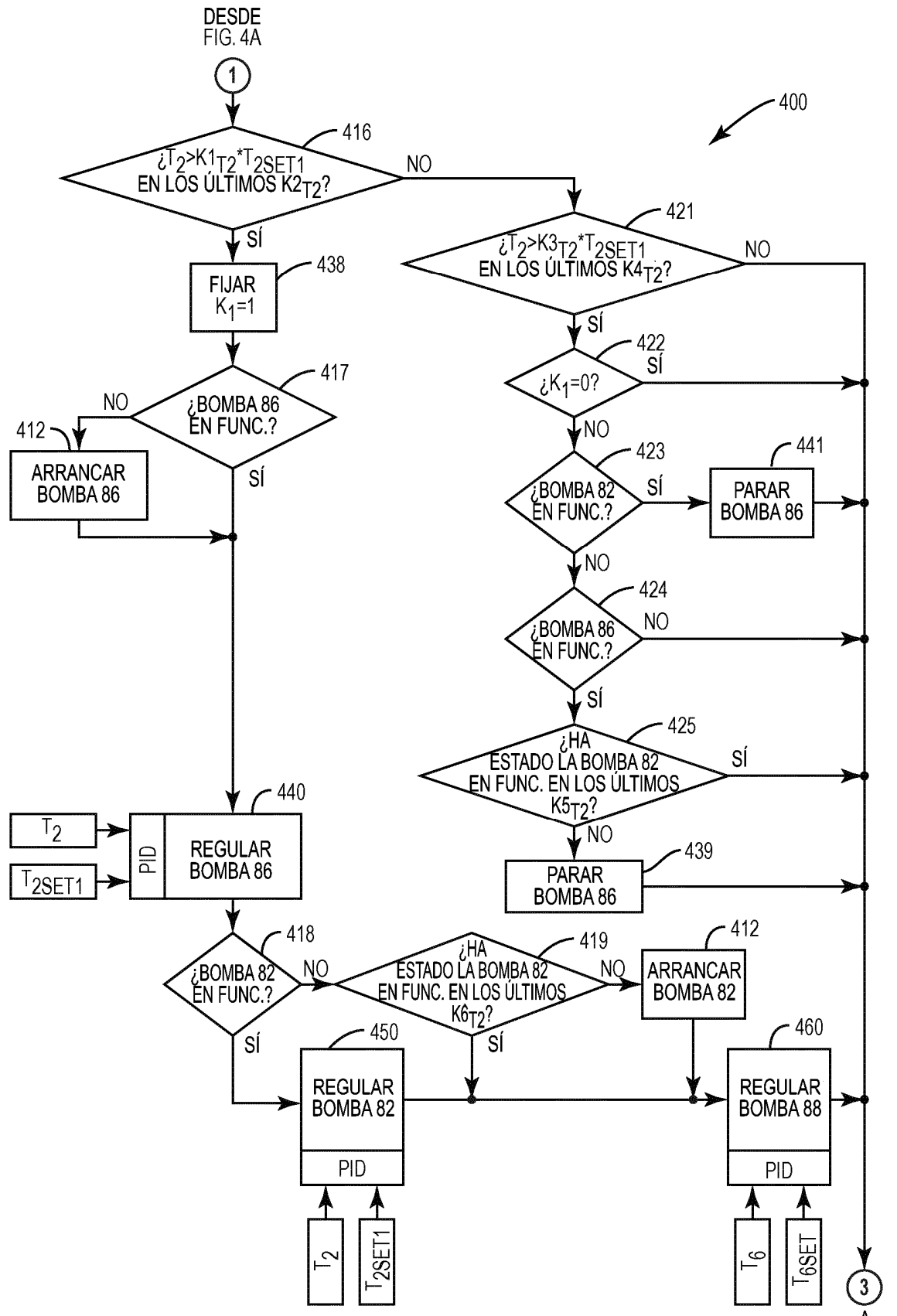


FIG. 4B

FIG. 4C

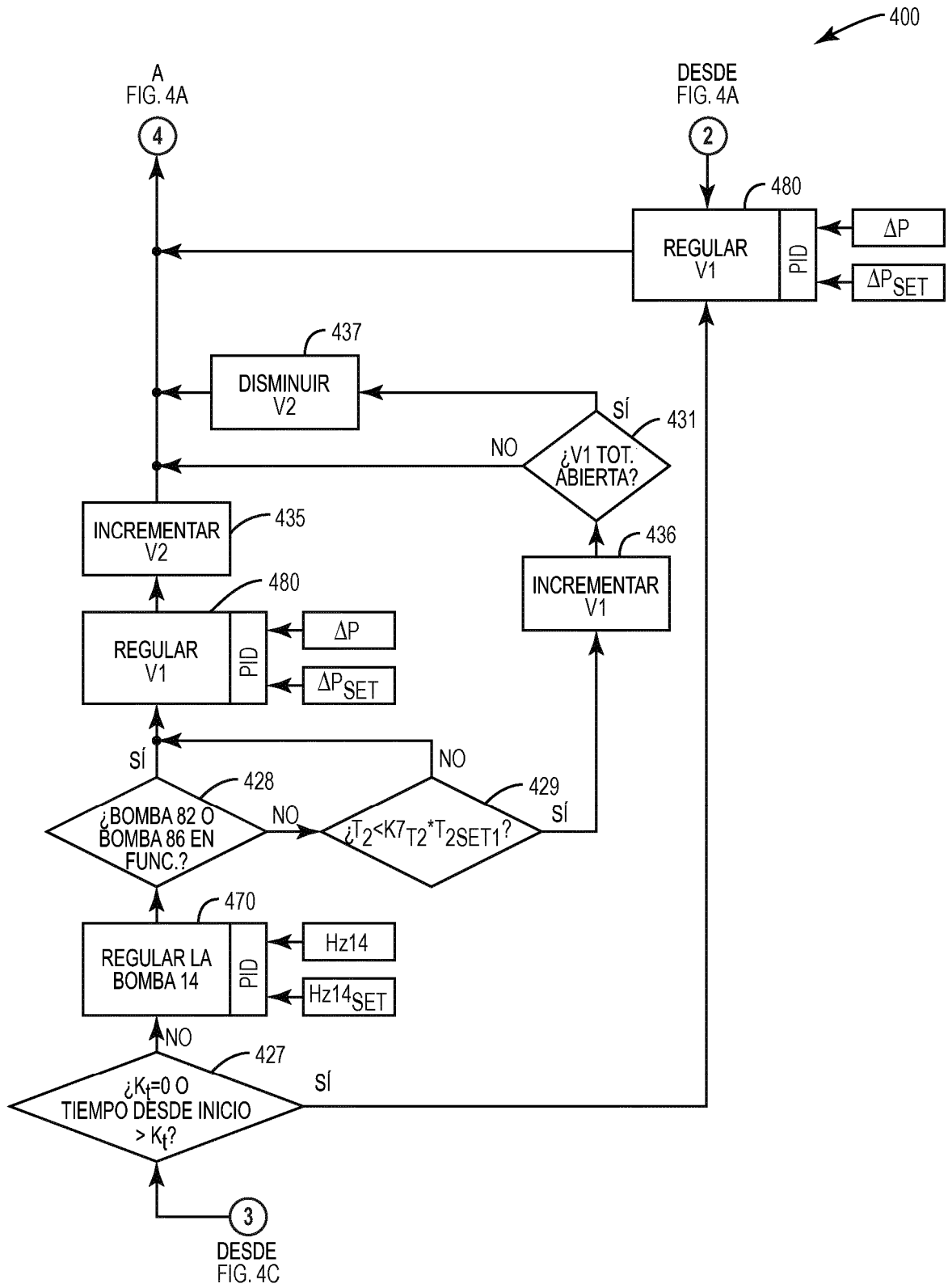


FIG. 4C