

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 960 756**

51 Int. Cl.:

F02C 9/26 (2006.01)

F02C 3/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.02.2017 PCT/IB2017/051050**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.08.2017 WO17145094**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.02.2017 E 17710619 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.08.2023 EP 3420209**

54 Título: **Sistemas y métodos para controlar una planta de energía**

30 Prioridad:

26.02.2016 US 201662300504 P

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

06.03.2024

73 Titular/es:

**8 RIVERS CAPITAL, LLC (100.0%)
406 Blackwell Street, 4th Floor
Durham, North Carolina 27701, US**

72 Inventor/es:

FETVEDT, JEREMY ERON

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 960 756 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

Sistemas y métodos para controlar una planta de energía

Campo de la divulgación

- 5 El objeto actualmente divulgado se refiere a sistemas y métodos para controlar los diversos aspectos de una planta de energía. Más particularmente, los sistemas y métodos pueden utilizar una variedad de señales y funciones para controlar presiones, temperaturas, flujos de fluidos, interruptores, válvulas y similares durante múltiples fases del arranque, funcionamiento y parada de una planta de energía.

Antecedentes

- 10 El documento EP 1 698 829 A2 describe un método para controlar una cámara de combustión de un motor, teniendo la cámara de combustión una relación de combustible a oxidante, definiéndose la relación de combustible a oxidante como una relación de una cantidad de combustible suministrada a la cámara de combustión dividida por una cantidad de oxígeno en una corriente de oxidante suministrada. a la cámara de combustión incluye controlar la relación de combustible a oxidante de la cámara de combustión en función de la cantidad de oxígeno en la corriente de oxidante.

- 15 El documento US 2014/0053529 A1 divulga un sistema de generación de energía que comprende una cámara de combustión, una turbina primaria de producción de energía, una unidad primaria de intercambio de calor, al menos un compresor y uno o más componentes de transferencia de calor.

El documento US 4.735.052 divulga un aparato de turbina de gas del tipo de combustión de combustible premezclado para accionar una turbina de gas.

- 20 A medida que aumenta la demanda mundial de producción de energía eléctrica, existe una necesidad continua de plantas de producción de energía adicionales para satisfacer dichas necesidades. Debido a las exigencias del mercado, es deseable que dicha producción de energía se logre con la mayor eficiencia posible; sin embargo, las crecientes necesidades de captura de carbono han requerido avances tecnológicos. Por ejemplo, la patente US 8.596.075 de Allarn et al. proporciona eficiencias deseables en los sistemas de combustión de oxcombustible que utilizan una corriente de CO₂ reciclado en la que el CO₂ se captura como una corriente relativamente pura a alta presión. Estos sistemas avanzados de producción de energía requieren consideraciones de control que no se han proporcionado hasta ahora. En consecuencia, existe la necesidad de sistemas y métodos adicionales adecuados para controlar múltiples aspectos de las plantas de energía, particularmente plantas de energía configuradas para una producción de energía de alta eficiencia con una captura de carbono sustancialmente completa.

Sumario de la divulgación

- 30 La presente divulgación proporciona sistemas y métodos para la producción de energía en los que se utilizan una o más trayectorias de control para el control automatizado de una o más acciones. Los controles automatizados pueden basarse en una variedad de entradas de señales, valores calculados, valores preestablecidos, valores medidos, funciones lógicas, algoritmos informáticos o entradas de programas informáticos.

- 35 En una realización según la reivindicación 1, la presente divulgación se refiere a un sistema para el control automatizado de una planta de producción de energía. El sistema comprende una secuencia lógica de control de flujo adaptada para seleccionar la más baja entre una señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE para el flujo de un combustible a una cámara de combustión y una señal de TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA TURBINA para una temperatura de una entrada de una turbina, y regular uno o ambos de un masa y presión del combustible que fluye desde un sistema de suministro de combustible a la cámara de combustión. El sistema está adaptado además para recibir una señal de ENERGÍA REAL que transmite la producción de energía real por parte de la planta de producción de energía en un momento dado; y una señal de DEMANDA DE ENERGÍA que transmite la producción de energía deseada por la planta al mismo tiempo dado; en el que el sistema está configurado para calcular un diferencial entre la señal de DEMANDA DE ENERGÍA y la señal de ENERGÍA REAL y para convertir el diferencial en la señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE.

- 40 El sistema genera la señal de TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA TURBINA como una selección de la más alta de una pluralidad de señales de temperatura calculadas, cada una derivada respectivamente de diferentes rutinas de cálculo para calcular la temperatura en la entrada de la turbina.

- 50 El sistema de control se puede adaptar para ajustar una relación de una masa o un volumen de combustible que fluye a través de dos o más líneas de combustible diferentes desde el sistema de suministro de combustible a la cámara de combustión.

El sistema de control se puede adaptar para abrir/cerrar válvulas de control de flujo en cada una de las dos o más líneas de combustible diferentes.

El sistema de control puede adaptarse para abrir/cerrar al menos una válvula de control de presión en cada una de las dos o más líneas de combustible diferentes.

El sistema de control se puede adaptar para ajustar una proporción de una masa o un volumen de oxidante que fluye a través de dos o más líneas de oxidante diferentes desde un sistema de suministro de oxidante hasta la cámara de combustión.

5 La planta de producción de energía puede incluir al menos un conjunto primario de líneas de combustible y oxidante y un conjunto secundario de líneas de combustible y oxidante, y en donde el sistema de control está adaptado para ajustar una relación de combustible a oxidante en el conjunto primario de líneas de combustible y oxidante independiente de una relación de combustible a oxidante en el conjunto secundario de líneas de combustible y oxidante.

10 La planta de producción de energía puede incluir una línea que proporcione una corriente de CO₂ reciclado, donde una porción de la corriente de CO₂ reciclado se añade a una o más de las líneas de oxidante, y en donde el sistema de control está adaptado para ajustar una concentración de oxígeno en una o más de las líneas de oxidante ajustando una cantidad del CO₂ reciclado que se añade a la línea de oxidante.

La concentración de oxígeno en cada una de las una o más líneas de oxidante se puede ajustar independientemente de las líneas de oxidante restantes.

15 Se puede adaptar para ajustar una relación de equivalencia entre la masa o el volumen de oxidante que fluye a través de la línea de oxidante primaria y la línea de oxidante secundaria.

20 El sistema de control puede adaptarse para cerrar una válvula de control de flujo en una línea de combustible primaria desde el sistema de suministro de combustible a la cámara de combustión de manera que sustancialmente no fluya combustible a través de la línea de combustible primaria y está adaptado para abrir una válvula de control de flujo en una línea de combustible secundaria. desde el sistema de suministro de combustible a la cámara de combustión de modo que sustancialmente todo el combustible que fluye a la cámara de combustión fluye a través de la línea de combustible secundaria.

El sistema de control se puede adaptar para ajustar una relación de equivalencia entre la masa o volumen de combustible que fluye a través de la línea de combustible primaria y la línea de combustible secundaria.

25 El sistema de control se puede adaptar para proporcionar la configuración de la válvula de control de flujo en la línea de combustible primaria y la válvula de control de flujo en la línea de combustible secundaria durante el arranque de la planta de producción de energía y está configurado para sincronizar la apertura de la válvula en la línea de combustible primaria con condiciones de funcionamiento de una o ambas turbinas y un compresor que comprime una corriente de CO₂ reciclado que fluye hacia la cámara de combustión.

30 El sistema de control puede adaptarse para mantener o reducir la masa o volumen de combustible que fluye a través de al menos una de las dos o más líneas de combustible diferentes desde el sistema de suministro de combustible a la cámara de combustión en respuesta a una señal de entrada que indica una temperatura de funcionamiento de una intercambiador de calor se acerca o excede una temperatura máxima de funcionamiento predefinida o una tasa de aumento de calor.

35 En una o más realizaciones, la presente divulgación se refiere además a un sistema de producción de energía. Por ejemplo, una planta de producción de energía según la presente divulgación comprende: una cámara de combustión; una turbina; un generador; un sistema de suministro de combustible; un sistema de suministro de oxidante; un sistema de control que tiene una pluralidad de trayectorias de control para el control automatizado de al menos un acto en operación de la planta de producción de energía, incluyendo dicho sistema de control: una trayectoria de control adaptada para generar una señal de control que es función de una comparación de una señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE para el flujo de un combustible a la cámara de combustión y una señal de TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA TURBINA para una temperatura de una entrada de la turbina, incluyendo dicha trayectoria de control de flujo de combustible una secuencia lógica adaptada para seleccionar la más baja entre la señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE y la señal de TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA TURBINA, y dicha
40
45 señal de control generada es efectiva para regular una o ambas de la masa y presión del combustible que fluye desde el sistema de suministro de combustible a la cámara de combustión. En realizaciones adicionales, el sistema de producción de energía se puede describir en relación con una cualquiera o más de las siguientes afirmaciones.

50 La señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE es una función de una comparación de una señal de ENERGÍA REAL que transmite la producción de energía real por parte de la planta de producción de energía en un momento dado y una señal de DEMANDA DE ENERGÍA que transmite la producción de energía deseada por parte de la planta en el mismo momento dado.

El sistema de control está configurado para generar la señal de TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA TURBINA como una selección de la más alta de una pluralidad de señales de temperatura calculadas, cada una derivada respectivamente de diferentes rutinas de cálculo para calcular la temperatura en la entrada de la turbina.

55 El sistema de suministro de combustible puede comprender al menos dos líneas de combustible controladas por separado configuradas para el paso de combustible a la cámara de combustión.

El sistema de suministro de combustible puede comprender al menos una válvula de control de flujo y al menos una válvula de control de presión en cada una de las al menos dos líneas de combustible controladas por separado.

El sistema de suministro de oxidante puede comprender al menos dos líneas de oxidante controladas por separado configuradas para el paso de oxidante a la cámara de combustión.

- 5 El sistema de suministro de oxidante puede comprender al menos una válvula de control de flujo en cada una de las al menos dos líneas de oxidante controladas por separado.

El sistema de suministro de oxidante puede comprender un elemento de control de relación de equivalencia configurado para ajustar una relación de equivalencia entre la masa o el volumen de oxidante que fluye a través de al menos dos líneas de oxidante controladas por separado.

- 10 La planta de producción de energía puede configurarse de manera que una de las al menos dos líneas de oxidante controladas por separado sea una línea de flujo de oxidante secundaria que comprende un sensor de flujo, en donde una de las al menos dos líneas de combustible controladas por separado es una línea de flujo de combustible secundaria que comprende un sensor de flujo, y en el que el sistema de control incluye un elemento de control de proporción configurado para abrir o cerrar la válvula de control de flujo en la línea de flujo de oxidante secundaria basándose en un flujo másico o volumétrico de combustible a través de la línea de flujo de combustible secundaria.

- 15 En realizaciones adicionales, que no forman parte del objeto de una reivindicación, la presente divulgación también puede relacionarse con métodos para la puesta en marcha de una planta de producción de energía. Por ejemplo, dichos métodos pueden comprender ejecutar una serie de señales de control en las que: una válvula de flujo en una línea de flujo de combustible secundaria se abre al menos parcialmente de manera que el combustible de una fuente de combustible comienza a fluir hacia una cámara de combustión mientras que sustancialmente no fluye combustible desde la fuente de combustible a la cámara de combustión en una línea de flujo de combustible primaria; una válvula de flujo en una línea de flujo de oxidante secundaria se abre al menos parcialmente de modo que el oxidante de una fuente de oxidante comienza a fluir hacia la cámara de combustión mientras que sustancialmente ningún oxidante fluye desde la fuente de oxidante hasta la cámara de combustión en una línea de flujo de oxidante primaria; una turbina aumenta desde una primera velocidad a una segunda velocidad más alta; después de que la turbina aumenta al menos a la segunda velocidad, se ajusta una relación de equivalencia del flujo de combustible en la línea de flujo de combustible primaria con respecto al flujo de combustible en la línea de flujo de combustible secundaria de modo que se abra una válvula en la línea de flujo de combustible primaria, y el combustible desde la fuente de combustible fluye hacia la cámara de combustión en la línea de flujo de combustible primaria; y después de que la turbina aumenta al menos a la segunda velocidad, se ajusta una relación de equivalencia del flujo de oxidante en la línea de flujo de oxidante primaria con respecto al flujo de oxidante en la línea de flujo de oxidante secundaria de modo que se abra una válvula en la línea de flujo de oxidante primaria, y el oxidante de la fuente de oxidante fluye hacia la cámara de combustión en la línea de flujo de oxidante primaria.

La divulgación incluye, sin limitación, lo siguiente:

- 35 Un sistema para el control automatizado de una planta de producción de energía, comprendiendo el sistema: una secuencia lógica de control de flujo que, cuando el sistema está en uso con la planta de producción de energía, está adaptada para: recibir una señal de ENERGÍA REAL que transmite una producción de energía real por la planta de producción de energía en un momento dado; recibir una señal de DEMANDA DE ENERGÍA que transmite una producción de energía deseada por parte de la planta de producción de energía al mismo tiempo dado; calcular un diferencial entre la señal de DEMANDA DE ENERGÍA y la señal de ENERGÍA REAL y convertir el diferencial en una señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE que indica un flujo deseado de un combustible a una cámara de combustión al mismo tiempo dado; generar una señal de TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA TURBINA que representa una temperatura de una entrada de una turbina, siendo la señal de TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA TURBINA una selección de la más alta de una pluralidad de señales de temperatura calculadas, cada una derivada respectivamente de diferentes rutinas de cálculo para calcular la temperatura en la entrada de la turbina; y regular una o ambas de una masa y una presión del combustible que fluye desde un sistema de suministro de combustible a la cámara de combustión basándose en una selección de la más baja de la señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE y la señal de TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA TURBINA.

- 50 El sistema de control para una planta de producción de energía anterior, en donde el sistema de control está adaptado para ajustar una relación de masa o volumen de combustible que fluye a través de dos o más líneas de combustible diferentes desde el sistema de suministro de combustible hasta la cámara de combustión.

El sistema de control para una planta de producción de energía anterior, en donde el sistema de control está adaptado para abrir/cerrar válvulas de control de flujo en cada una de las dos o más líneas de combustible diferentes.

- 55 El sistema de control para una planta de producción de energía anterior, en donde el sistema de control está adaptado para abrir/cerrar al menos una válvula de control de presión en cada una de las dos o más líneas de combustible diferentes.

El sistema de control para una planta de producción de energía anterior, en donde el sistema de control está adaptado

para ajustar una proporción de una masa o un volumen de oxidante que fluye a través de dos o más líneas de oxidante diferentes desde un sistema de suministro de oxidante hasta la cámara de combustión.

5 El sistema de control para una planta de producción de energía anterior, en donde la planta de producción de energía incluye al menos un conjunto primario de líneas de combustible y oxidante y un conjunto secundario de líneas de combustible y oxidante, y en donde el sistema de control está adaptado para ajustar una relación de combustible a oxidante en el conjunto primario de líneas de combustible y oxidante independiente de una relación de combustible a oxidante en el conjunto secundario de líneas de combustible y oxidante.

10 El sistema de control para una planta de producción de energía anterior, en donde la planta de producción de energía incluye una línea que proporciona una corriente de CO₂ reciclado, donde una parte de la corriente de CO₂ se añade a una o más de las líneas de oxidante, y en donde el sistema de control está adaptado para ajustar una concentración de oxígeno en una o más de las líneas de oxidante ajustando una cantidad del CO₂ reciclado que se añade a la línea de oxidante.

El sistema de control para una planta de producción de energía anterior, en el que la concentración de oxígeno en cada una de las una o más líneas de oxidante se ajusta independientemente de las líneas de oxidante restantes.

15 El sistema de control para una planta de producción de energía anterior, en donde el sistema de control está adaptado para ajustar una relación de equivalencia entre la masa o volumen de oxidante que fluye a través de la línea de oxidante primaria y la línea de oxidante secundaria.

20 El sistema de control para una planta de producción de energía anterior, en donde el sistema de control está adaptado para cerrar una válvula de control de flujo en una línea de combustible primaria desde el sistema de suministro de combustible a la cámara de combustión de modo que sustancialmente no fluya combustible a través de la línea de combustible primaria y está adaptado abrir una válvula de control de flujo en una línea de combustible secundaria desde el sistema de suministro de combustible a la cámara de combustión de modo que sustancialmente todo el combustible que fluye hacia la cámara de combustión fluya a través de la línea de combustible secundaria.

25 El sistema de control para una planta de producción de energía anterior, en donde el sistema de control está adaptado para ajustar una relación de equivalencia entre la masa o volumen de combustible que fluye a través de la línea de combustible primaria y la línea de combustible secundaria.

30 El sistema de control para una planta de producción de energía anterior, en donde el sistema de control está adaptado para proporcionar la configuración de la válvula de control de flujo en la línea de combustible primaria y la válvula de control de flujo en la línea de combustible secundaria durante el arranque de la planta de producción de energía y es configurado para sincronizar la apertura de la válvula en la línea de combustible primaria con una condición de funcionamiento de una o ambas turbinas y un compresor que comprime una corriente de CO₂ reciclado que fluye hacia la cámara de combustión.

35 El sistema de control para una planta de producción de energía anterior, en donde el sistema de control está adaptado para mantener o disminuir la masa o volumen de combustible que fluye a través de al menos una de las dos o más líneas de combustible diferentes desde el sistema de suministro de combustible a la cámara de combustión en respuesta a una señal de entrada que indica que la temperatura operativa de un intercambiador de calor se acerca o excede una temperatura operativa máxima predefinida o una tasa de aumento de calor.

40 Una planta de producción de energía con control automatizado, comprendiendo la planta de producción de energía: una cámara de combustión; una turbina; un generador; un sistema de suministro de combustible; un sistema de suministro de oxidante; un sistema de control que tiene una pluralidad de trayectorias de control para el control automatizado de al menos un acto en operación de la planta de producción de energía, incluyendo dicho sistema de control una trayectoria de control adaptada para generar una señal de control que es función de: una comparación de una señal de ENERGÍA REAL que transmite la producción de energía real por parte de la planta de producción de energía en un momento dado y una señal de DEMANDA DE ENERGÍA que transmite la producción de energía deseada por la planta al mismo tiempo dado para generar una señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE para el flujo de un combustible a la cámara de combustión; y generación de una señal de TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA TURBINA para una temperatura de una entrada de la turbina mediante una selección de la más alta de una pluralidad de señales de temperatura calculadas, cada una derivada respectivamente de diferentes rutinas de cálculo para calcular la temperatura en la entrada de la turbina; dicha trayectoria de control incluye una secuencia lógica adaptada para seleccionar la más baja entre la señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE y la señal de TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA TURBINA, y dicha señal de control generada es efectiva para regular una o ambas de la masa y la presión del combustible que fluye desde el sistema de suministro de combustible a la cámara de combustión.

55 La planta de producción de energía anterior, en donde el sistema de suministro de combustible comprende al menos dos líneas de combustible controladas por separado configuradas para el paso de combustible a la cámara de combustión.

La planta de producción de energía anterior, en donde el sistema de suministro de combustible comprende al menos

una válvula de control de flujo y al menos una válvula de control de presión en cada una de las al menos dos líneas de combustible controladas por separado.

La planta de producción de energía de arriba, en donde el sistema de suministro de oxidante comprende al menos dos líneas de oxidante controladas por separado configuradas para el paso de oxidante a la cámara de combustión.

- 5 La planta de producción de energía anterior, en donde el sistema de suministro de oxidante comprende al menos una válvula de control de flujo en cada una de las al menos dos líneas de oxidante controladas por separado.

La planta de producción de energía anterior, en donde el sistema de suministro de oxidante comprende un elemento de control de relación de equivalencia configurado para ajustar una relación de equivalencia entre la masa o el volumen de oxidante que fluye a través de al menos dos líneas de oxidante controladas por separado.

- 10 La planta de producción de energía anterior, en donde una de las al menos dos líneas de oxidante controladas por separado sea una línea de flujo de oxidante secundaria que comprende un sensor de flujo, en donde una de las al menos dos líneas de combustible controladas por separado es una línea de flujo de combustible secundaria que comprende un sensor de flujo, y en el que el sistema de control incluye un elemento de control de proporción configurado para abrir o cerrar la válvula de control de flujo en la línea de flujo de oxidante secundaria basándose en un flujo másico o volumétrico de combustible a través de la línea de flujo de combustible secundaria.
- 15

Breve descripción de las figuras

Se hará ahora referencia a los dibujos adjuntos, que no están necesariamente dibujados a escala, y en los que:

La FIG. 1 es un diagrama de flujo para una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;

- 20 La FIG. 2 es un diagrama de bloques de funciones que muestra trayectorias de control llevadas a cabo por un sistema de control en funcionamiento de una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;

La FIG. 3 es un diagrama de flujo para un sistema de gas combustible y ciertos elementos de control del mismo tal como se usan en una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;

- 25 La FIG. 4a es la HOJA 1 de una serie de diagramas de bloques de funciones, la FIG. 4a que muestra trayectorias de control útiles, por ejemplo, en estado estacionario y demanda de control de energía para una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;

La FIG. 4b es la HOJA 2 de la serie de diagramas de bloques de funciones, la FIG. 4b que muestra trayectorias de control útiles, por ejemplo, para iniciar el arranque de una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;

- 30 La FIG. 4c es la HOJA 3 de la serie de diagramas de bloques de funciones, la FIG. 4c que muestra trayectorias de control útiles para, por ejemplo, iniciar el arranque de la turbina y la referencia del inversor de carga conmutada (LCI) durante el arranque de una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;

- La FIG. 4d es la HOJA 4 de la serie de diagramas de bloques de funciones, la FIG. 4d que muestra trayectorias de control útiles, por ejemplo, en arranque e ignición durante el arranque de una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;
- 35

La FIG. 4e es la HOJA 5 de la serie de diagramas de bloques de funciones, la FIG. 4e que muestra trayectorias de control útiles, por ejemplo, en el encendido durante el arranque de una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;

- 40 La FIG. 4f es la HOJA 6 de la serie de diagramas de bloques de funciones, la FIG. 4f que muestra trayectorias de control útiles para, por ejemplo, satisfacer la demanda de combustible durante el arranque de una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;

La FIG. 4g es la HOJA 7 de la serie de diagramas de bloques de funciones, la FIG. 4g que muestra trayectorias de control útiles, por ejemplo, para la protección del intercambiador de calor y el cálculo de relaciones de combustión para una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;

- 45 La FIG. 4h es la HOJA 8 de la serie de diagramas de bloques de funciones, la FIG. 4h que muestra trayectorias de control útiles, por ejemplo, en la sincronización de generadores para una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;

- La FIG. 4i es la HOJA 9 de la serie de diagramas de bloques de funciones, la FIG. 4i que muestra trayectorias de control útiles, por ejemplo, para calcular la temperatura de entrada de la turbina en una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;
- 50

La FIG. 4j es la HOJA 10 de la serie de diagramas de bloques de funciones, la FIG. 4j que muestra trayectorias de control útiles, por ejemplo, para controlar válvulas de control de presión de combustible y puntos de ajuste de presión de descarga en una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;

5 La FIG. 4k es la HOJA 11 de la serie de diagramas de bloques de funciones, la FIG. 4k que muestra trayectorias de control útiles para, por ejemplo, establecer el punto de ajuste de la presión de descarga de oxidante en una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;

La FIG. 4l es la HOJA 12 de la serie de diagramas de bloques de funciones, la FIG. 4l que muestra trayectorias de control útiles, por ejemplo, para configurar temperaturas de enfriamiento de palas de turbina y puntos de ajuste de flujo en una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;

10 La FIG. 4m es la HOJA 13 de la serie de diagramas de bloques de funciones, la FIG. 4m que muestra trayectorias de control útiles, por ejemplo, en el control del empuje de una turbina en una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación;

15 La FIG. 4n es la HOJA 14 de la serie de diagramas de bloques de funciones, la FIG. 4n que muestra trayectorias de control útiles para, por ejemplo, controlar los flujos de purga de tuberías de combustible en una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación; y

La FIG. 5 muestra un diagrama de flujo que incluye una pluralidad de componentes funcionales y elementos de control para una planta de producción de energía según realizaciones de la presente divulgación.

Descripción detallada

20 El presente objeto se describirá ahora más completamente a continuación con referencia a realizaciones de ejemplo del mismo. Estas realizaciones de ejemplo se describen de modo que la presente divulgación sea exhaustiva y completa y para transmitir completamente el alcance del objeto a los expertos en la técnica. De hecho, el objeto puede realizarse de muchas formas diferentes y no debe interpretarse como limitada a las realizaciones establecidas en este documento; más bien, se proporcionan estas realizaciones para que esta divulgación satisfaga los requisitos legales aplicables. Tal como se utiliza en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas, las formas singulares "un," "una" y "el", "la" incluyen los referentes plurales a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

25 La presente divulgación se refiere a sistemas y métodos adaptados para controlar una o más acciones en la operación de una planta de producción de energía. Como tal, la presente divulgación se refiere además a plantas de producción de energía que incluyen una variedad de elementos, incluidos dichos sistemas de control. Ejemplos no limitativos de elementos que pueden incluirse en una planta de producción de energía según la presente divulgación se describen en la patente US n.º 8.596.075, la patente US n.º 8.776.532, la patente US n.º 8.959.887, la patente US n.º 8.986.002, la patente US n.º 9.068.743, la publicación de patente US n.º 2010/0300063, la publicación de patente US n.º 2012/0067054, la publicación de patente US n.º 2012/0237881, y la publicación de patente US n.º 2013/0213049.

35 En una o más realizaciones, una planta de producción de energía puede incluir alguna combinación de los elementos mostrados en la FIG. 1 (aunque se entiende que también pueden incluirse otros elementos). Como se ve allí, una planta de producción de energía 100 puede incluir una cámara de combustión 111 configurada para recibir combustible de un suministro de combustible 115 y oxidante de un suministro de oxidante 120. El combustible puede fluir desde el suministro de combustible 115 en una línea de combustible primaria 116 y/o una línea de combustible secundaria 117. El suministro de combustible 115 y las líneas de suministro de combustible 116, 117 pueden formar un sistema de combustible. Asimismo, puede fluir oxidante desde el suministro de oxidante 120 en una línea de oxidante primaria 121 y/o una línea de oxidante secundaria 122. El suministro de oxidante 120 y las líneas de suministro de oxidante 121, 122 pueden proceder de un sistema de oxidante. Si bien se ilustran una pluralidad de líneas de suministro de combustible y líneas de suministro de oxidante, se entiende que solo se puede utilizar una única línea de suministro de combustible y/o solo se puede utilizar una única línea de suministro de oxidante. Asimismo, se pueden usar más de dos líneas de suministro de combustible y/o se pueden usar más de dos líneas de suministro de oxidante. El combustible se quema en la cámara de combustión 111 con el oxidante en presencia de una corriente de CO₂ reciclado proporcionada en la línea 160 y/o en la línea 121 en mezcla con el oxidante y/o en la línea 122 en mezcla con el oxidante. La corriente de productos de combustión en la línea 112 se expande a través de una turbina 125 para producir energía con un generador combinado 130. Aunque la cámara de combustión 111 y la turbina 125 se ilustran como elementos separados, se entiende que, en algunas realizaciones, una turbina puede configurarse para incluir la cámara de combustión. En otras palabras, una única unidad de turbina puede incluir una sección de combustión y una sección de expansión. En consecuencia, la discusión aquí sobre el paso de corrientes a una cámara de combustión también puede leerse como el paso de corrientes a una turbina que está configurada para combustión así como para expansión.

55 El escape de la turbina en la corriente 126 se enfría en un intercambiador de calor 135. Aunque se ilustra un único intercambiador de calor 135, se entiende que el intercambiador de calor puede ser una única unidad con una pluralidad de secciones que funcionan en diferentes intervalos de temperatura. Asimismo, se pueden utilizar una pluralidad de intercambiadores de calor separados que funcionan en diferentes intervalos de temperatura. El agua se separa a través de la tubería de agua 141 en el separador 140 para producir una corriente de CO₂ reciclado sustancialmente

puro 145 (aunque parte de la corriente puede retirarse de la planta y/o desviarse a otras partes de la planta (por ejemplo, para enfriar la turbina) o a otras líneas (por ejemplo, para combinación con el oxidante y/o el combustible) . La corriente de CO₂ reciclado 145 se comprime en un compresor de múltiples etapas que incluye un compresor de primera etapa 151, un compresor de segunda etapa 155 y un refrigerador entre etapas 153. Opcionalmente, se pueden
 5 agregar uno o más compresores o bombas adicionales. Además, no es necesario que el compresor sea un compresor de múltiples etapas. La corriente de CO₂ reciclado comprimido en la línea 160 vuelve a pasar a través del intercambiador de calor hasta la cámara de combustión. Toda o parte de la corriente de CO₂ reciclado en la línea 160 puede pasar directamente a la cámara de combustión 111. Como se ilustra en las líneas 161, 161a y 161b, toda o
 10 parte de la corriente de CO₂ reciclado puede introducirse en una o ambas de la línea de oxidante primaria 117 y la línea de oxidante secundaria 122. Aunque no se ilustra, se entiende que una o ambas líneas 161 y 161b pueden proporcionar CO₂ de forma alternativa o adicional a una o ambas de las líneas de suministro de combustible 116, 117.

La planta de producción de energía ilustrada incluye además un sistema de control 170 que tiene una pluralidad de trayectorias de control (CP1, CP2, CP3 y CP4 como se ilustran) que están configuradas para proporcionar control automatizado de al menos un acto en operación de la planta de producción de energía. Cada trayectoria de control
 15 puede configurarse para generar al menos una señal de control (SIG 1, SIG 2, SIG 3 y SIG 4) que sea eficaz para provocar que se produzcan una o más acciones de respuesta. Ejemplos no limitantes de tales acciones de respuesta pueden incluir ejecutar una subrutina de ordenador, realizar un cálculo matemático, ejecutar una función lógica, alterar el estado de una válvula, alterar el flujo másico de una corriente de fluido, alterar la presión de una corriente de fluido, generar una señal de control adicional, y similares. Una única trayectoria de control puede configurarse para generar
 20 una única señal de control o puede configurarse para generar una pluralidad de señales. Además, la planta de producción de energía puede incluir un único sistema de control o puede incluir una pluralidad de sistemas de control. Por ejemplo, el sistema de control 170 puede ser un sistema de control distribuido (DCS) que puede configurarse para el control de arriba hacia abajo de todos los componentes de la planta de producción de energía. Si se desea, uno o más elementos de la planta de producción de energía pueden tener un sistema de control separado que puede
 25 funcionar en combinación con el DCS o sustancialmente de forma autónoma del DCS. Por ejemplo, un sistema de control de turbina (TCS) puede funcionar independientemente del DCS. Además, el DCS puede enviar señales al TCS (y viceversa) para llevar a cabo diversas funciones de los métodos de producción de energía. Por consiguiente, la planta de energía puede comprender un único sistema de control, o la planta de energía puede comprender una pluralidad de sistemas de control. Además, un único sistema de control puede gestionar uno o más sistemas de
 30 subcontrol. En la FIG. 1, el sistema de control 170 puede ser un TCS, y el sistema puede incluir un DCS separado.

El sistema o sistemas de control se pueden configurar para abordar una variedad de necesidades de control. En algunas realizaciones, un sistema de control puede relacionarse particularmente con formas de controlar la producción de energía de la planta de producción de energía. En algunas realizaciones, un sistema de control puede relacionarse particularmente con formas de controlar el flujo de combustible y/o el flujo de oxidante en el sistema de producción de
 35 energía. En algunas realizaciones, un sistema de control puede relacionarse particularmente con controles para proporcionar un sistema de estado sustancialmente estable. Ejemplos no limitantes de condiciones de estado estable sujetas a trayectorias de control específicas y/o señales de control incluyen monitores y alarmas de temperatura de entrada de la turbina, señales de demanda de oxidante, flujo y temperatura de enfriamiento de la caja, flujo y temperatura de enfriamiento de la boquilla, flujo y temperatura de enfriamiento de las palas, control de pistón de
 40 equilibrio y protección del intercambiador de calor. En una o más realizaciones, se pueden utilizar en combinación una pluralidad de trayectorias de control y/o señales de control. Por ejemplo, el arranque de la planta puede utilizar múltiples trayectorias de control y señales de control para garantizar que la planta pase de un estado apagado a un estado en funcionamiento de manera segura y eficiente. En particular, el inicio puede ejecutarse utilizando una pluralidad de puntos de trayectoria en los que las condiciones de trabajo necesarias de cada punto de trayectoria
 45 deben lograrse adecuadamente antes de que el sistema de control permita que la puesta en marcha avance al siguiente punto de la trayectoria. Por lo tanto, el sistema de control puede configurarse particularmente para garantizar que se lleven a cabo una pluralidad de etapas en una secuencia definida logrando un resultado definido. Por consiguiente, la presente divulgación puede proporcionar particularmente uno o más métodos para controlar uno o más aspectos de un ciclo de combustión de producción de energía.

Las funciones de control como se describen en el presente documento pueden relacionarse particularmente con cambios específicos en una o más condiciones operativas del sistema de producción de energía en respuesta a una
 50 señal de control que se entrega desde un elemento de control a un componente funcional del sistema de producción de energía. Por ejemplo, una función de control puede incluir abrir y/o cerrar una o más válvulas, aumentar o disminuir la presión en una línea de flujo específica, aumentar o disminuir el caudal a través de una línea de flujo, aumentar o
 55 disminuir la compresión en un compresor o bomba, y similares. Por lo tanto, se pueden provocar cambios operativos en respuesta a una señal de control procedente de un elemento de control. Además, la señal de control puede ser generada por el elemento de control basándose en una señal de entrada de uno o más sensores, tales como un sensor de presión, un sensor de flujo, un sensor de nivel y un sensor de temperatura.

En una o más realizaciones, la salida de energía en un sistema de producción de energía se puede ajustar utilizando
 60 la demanda de energía como señal de control. Como tal, la presente divulgación puede referirse a un sistema de control que comprende una o más trayectorias de control para un sistema de producción de energía, así como un sistema y método adecuados para la implementación de las trayectorias de control. Realizaciones de trayectorias de control adecuadas se ilustran en la FIG. 2. Las trayectorias de control que se muestran en la FIG. 2 se muestran

además en la FIG. 4a (HOJA 1). Las trayectorias de control que se ilustran en la FIG. 2 ilustran realizaciones mediante las cuales los flujos de combustible y/o los flujos de oxidante pueden conmutarse (automática o manualmente) en dos o más líneas, por ejemplo, entre una línea de combustible primaria (o una línea de combustible de alto flujo) y una línea de combustible secundaria (o una línea de combustible de bajo flujo) o entre una línea de oxidante primaria (o una línea de oxidante de alto flujo) y una línea de oxidante secundaria (o una línea de oxidante de bajo flujo). Las trayectorias de control permiten la capacidad de utilizar una relación de equivalencia variable para los flujos respectivos entre las líneas respectivas. Por ejemplo, el sistema de control puede definir una o más trayectorias de control específicamente adaptadas para controlar la cantidad de combustible que pasa a través de la línea de combustible primaria (116 en la FIG. 1) y la línea de combustible secundaria (117 en la FIG. 1) y/o una o más trayectorias de control específicamente adaptadas para controlar la cantidad de oxidante que pasa a través de la línea de oxidante primaria (121 en la FIG. 1) y la línea de oxidante secundaria (122 en la FIG. 1). El control del flujo de combustible y/o del flujo de oxidante puede incluir abrir y cerrar una o más válvulas en respuesta a una señal de control procedente de un elemento de control. Además, la señal de control puede ser generada por el elemento de control basándose en una señal de entrada de uno o más sensores. En realizaciones particulares, dicho control puede aplicarse específicamente durante el arranque de la planta de energía y/o durante un período de cambio entre el arranque y la operación completa. Como se usa en el presente documento, "operación completa" puede indicar que la cámara de combustión está en funcionamiento, la turbina y el compresor principal están sincronizados y la turbina está funcionando a una velocidad suficiente para operar el generador para la producción de energía.

En la FIG. 2, el DCS y el sistema de control del generador (GCS) pueden emitir una señal de DEMANDA DE ENERGÍA 202 y una señal de ENERGÍA REAL 204, respectivamente. DEMANDA DE ENERGÍA transmite la salida de energía que se requiere en un momento dado, y ENERGÍA REAL transmite la salida de energía real en un momento dado medida por el generador. La DEMANDA DE ENERGÍA se compara con la ENERGÍA REAL, y el diferencial calculado en el punto de referencia 206 se puede utilizar para generar una señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE. Por lo tanto, la secuencia de control está configurada para convertir una señal de DEMANDA DE ENERGÍA en una señal de flujo de combustible, que puede indicar que el flujo de combustible en la línea de combustible primaria y en la línea de combustible secundaria esté en proporciones variables. La señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE se calcula en el punto 208 o, como alternativa, la función de energía-a-flujo se puede configurar para generar una señal de referencia de carrera de combustible (FSR) convencional. Por ejemplo, la función en el punto de trayectoria 206 puede tener una señal de salida del 0 % al 100 % en lugar de generar un caudal de combustible como se indicó anteriormente. Si utiliza el modo FSR, el siguiente controlador puede ponerse bajo control manual. La señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE que surge de la función en el punto de trayectoria 208 se puede modificar con uno o más requisitos adicionales en el punto de trayectoria 210. Por ejemplo, la señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE se puede modificar con una señal de requisito de combustible, tal como una señal de combustible de arranque (SU-COMBUSTIBLE) de una secuencia de arranque. Durante el arranque, la DEMANDA DE ENERGÍA puede ser esencialmente cero y, por lo tanto, la señal SU-COMBUSTIBLE dirigirá el requisito de flujo de combustible. A medida que el proceso avanza después del inicio, la DEMANDA DE ENERGÍA aumentará y la señal SU-COMBUSTIBLE eventualmente pasará a nula. De esta manera, el flujo de combustible se ajusta automáticamente a medida que cambia la señal de DEMANDA DE ENERGÍA.

La señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE generada en el punto 208 de la trayectoria de control mostrada en la FIG. 2 puede ser leído por un controlador o por varios controladores. Además, la señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE se puede aplicar a una pluralidad de líneas de combustible y líneas de oxidante diferentes, que pueden variar según el número de líneas de combustible utilizadas en el sistema de producción de energía. Como se ilustra en la FIG. 1, el sistema de control incluye: un camino por el cual el combustible fluye a través de una válvula de control de combustible en una línea primaria (por ejemplo, la línea 116 en la FIG. 1) está controlado; una trayectoria por la cual el combustible fluye a través de una válvula de control de combustible es una línea secundaria (por ejemplo, la línea 117 en la FIG. 1) está controlada; una trayectoria por la cual el oxidante fluye a través de una línea secundaria (por ejemplo, la línea 122 en la FIG. 1) está controlado; y una trayectoria mediante la cual se calcula una señal de demanda de oxidante, señal que puede usarse para controlar el flujo de oxidante a través de una línea primaria (por ejemplo, la línea 121 en la FIG. 1). Aunque el uso de los términos "línea de combustible primaria", "línea de combustible secundaria", "línea de oxidante primaria" y "línea de oxidante secundaria" se puede usar en general para delinear la pluralidad de líneas de combustible y líneas de oxidante que se pueden usar, los términos pueden relacionarse con propósitos específicos de las líneas en la práctica. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, se pueden adaptar una línea de combustible primaria y una línea de oxidante primaria para proporcionar una mayor parte del flujo de combustible y/o el flujo de oxidante a la cámara de combustión durante el funcionamiento normal de la planta de producción de energía, mientras que una línea de combustible secundaria y se puede adaptar una línea de oxidante secundaria para proporcionar flujo de combustible y/o flujo de oxidante principalmente durante el arranque de la planta. Si bien se ilustran dos trayectorias de flujo de combustible y de oxidante, se entiende que se abarcan dos o más trayectorias de flujo de combustible y dos o más trayectorias de flujo de oxidante (por ejemplo, tres, cuatro, cinco o más trayectorias de flujo). En algunas realizaciones, las demandas de flujo de combustible y/u oxidante se pueden dividir en función de una fracción dividida (FRAC-DIVIDIDA) proporcionada por el TCS (que se analiza más adelante).

Los sistemas de control según la presente divulgación pueden calcular además flujos de combustible y/u oxidante basándose al menos en parte en la temperatura de entrada de la turbina ("TIT") de la turbina productora de energía (elemento 125 en la FIG. 1). En la trayectoria de control que se ilustra en la FIG. 2, una temperatura de entrada de la

turbina calculada, TIT CALCULADA, puede introducirse en el punto de referencia 212 y compararse con una temperatura de entrada de la turbina máxima, TIT MAX, introducida en el punto de referencia 214 que puede preestablecerse y puede basarse, por ejemplo, en la límites de operación de la turbina u otros componentes del sistema de producción de energía (por ejemplo, límites de operación del intercambiador de calor). El cálculo diferencial en el punto de referencia 216 se compara con la señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE ajustada opcionalmente en el punto de referencia 210, y el valor más bajo se emite en el punto de referencia 218 para su uso en las trayectorias de control adicionales ilustradas en la FIG. 2.

La trayectoria de control superior en la FIG. 2 utiliza el valor bajo seleccionado 218 para calcular el flujo de combustible a través de la válvula de control de combustible para la línea de flujo alto - es decir, la línea de flujo de combustible primaria 116 en la FIG. 1. El valor bajo seleccionado 218 se ajusta basándose en una señal fraccionaria (FRAC DIVIDIDA) que se genera como se describe de otro modo en el presente documento. El valor de FRAC DIVIDIDA se resta de 1 y el resultado se multiplica por el valor bajo seleccionado 218 en el punto de referencia 220. En una realización ejemplar de un modo de inicio, un interruptor automático en la trayectoria de control se puede cerrar recibiendo una señal "cero" de un generador de señales; consulte el punto de referencia 222 en la FIG. 2. De esta manera, la trayectoria de control puede forzarse a cero de modo que la válvula de control de flujo (FCV-FH) 232 para la línea de alto flujo esté cerrada y sustancialmente no fluya combustible a través de la línea de combustible de alto flujo. De este modo, toda la señal de demanda de combustible se envía a través de la segunda trayectoria de control de modo que sustancialmente todo el flujo de combustible pasa a través de la línea de combustible de bajo flujo controlada por la válvula de control de combustible de bajo flujo - FCV-FL 246. Las señales de control generadas a este respecto se pueden adaptar para abrir/cerrar la válvula de control de flujo (FCV-FH) en la línea de alto flujo y/o la válvula de control de flujo (FCV-FL) en la línea de bajo flujo. Dicha apertura y cierre de las válvulas en las líneas de flujo de combustible (por ejemplo, las líneas 116 y 117 en la FIG. 1) puede ser incremental según sea necesario para proporcionar el flujo másico o el flujo volumétrico requerido. Independientemente del modo de funcionamiento, las válvulas de control de flujo de combustible (FCV-FH y FCV-FL) están configuradas preferiblemente para responder a la señal de DEMANDA DE ENERGÍA basándose en las modificaciones adicionales ilustradas en la FIG. 2. De esta manera, la señal de DEMANDA DE ENERGÍA puede funcionar en última instancia para aumentar y/o disminuir la cantidad de combustible que ingresa a la cámara de combustión a través de cualquier línea de flujo de combustible.

El generador de señales mantendrá el punto de trayectoria 222 predeterminado en 0 hasta que reciba una señal de MODO que se genere como se describe de otro modo en este documento. La señal de MODO puede ser cualquier señal que indique que el proceso de producción de energía está en una condición en la que se desea el flujo de combustible a través de la línea de alto flujo. Por ejemplo, como se indicó anteriormente, durante el arranque, puede ser deseable proporcionar flujo de combustible sólo a través de la línea de combustible de bajo flujo. Una vez que se ha cumplido el conjunto definido de condiciones operativas, se puede generar la señal de MODO y el combustible puede comenzar a fluir a través de la línea de alto flujo. En ese momento, el interruptor automático que controla el punto de trayectoria 222 hará que la trayectoria de control utilice el cálculo desde el punto de trayectoria 220. Luego, ese cálculo se compara con el flujo real de combustible a través de la línea de alto flujo FLUJO-FH 228, que se mide en el transductor de flujo 226. El diferencial calculado en el punto de trayectoria 224 pasa luego a través del interruptor automático en el punto de trayectoria 230. Este valor se utilizará para controlar el FCV-FH 232 a menos que las condiciones de funcionamiento hayan provocado que se genere una señal de PARADA DE COMBUSTIBLE, por ejemplo, en caso de un mal funcionamiento de la planta de energía. La señal de PARADA DE COMBUSTIBLE, si se genera, hará que la señal de flujo a través del punto de referencia 230 cambie a 0 para que no fluya combustible a través del FCV-FH 232. De lo contrario, FCV-FH 232 se abrirá/cerrará automáticamente para permitir el flujo másico o volumétrico calculado de acuerdo con la trayectoria de control anterior.

En una trayectoria de control similar, el SELECCIONAR VALOR BAJO generado en el punto de trayectoria 218 se puede usar para controlar automáticamente el flujo de combustible a través de la línea de combustible de bajo flujo dirigiendo la apertura y el cierre de la válvula de control de combustible de la línea de bajo flujo - FCV-FL 246. En particular, un interruptor automático en el punto de trayectoria 234 puede usar de manera predeterminada el VALOR BAJO desde el punto de trayectoria 218 de modo que el flujo de combustible sea solo a través de la línea de combustible de flujo bajo a través del FCV-FL 246. Como antes, la señal FRAC DIVIDIDA puede hacer que el interruptor automático alterne a la función de multiplicar el VALOR BAJO por el valor FRAC DIVIDIDA. Cualquier valor que pase a través del punto de trayectoria 234 se compara con el flujo de combustible real a través de la línea de flujo bajo medido por el transductor de flujo 236 para FLUJO-FL 238. El diferencial tomado en el punto de referencia 240 pasa luego de forma predeterminada a través del interruptor automático en el punto de referencia 242. Sin embargo, el interruptor automático puede alternar a un valor de flujo preestablecido si el controlador genera una señal indicativa de encendido real en la cámara de combustión, es decir, una señal de IGNICIÓN DE COMBUSTIBLE ENCENDIDO. El flujo preestablecido puede tener cualquier valor; sin embargo, normalmente se puede mantener a un nivel relativamente bajo de modo que la mayor parte del flujo de combustible pase a través de la línea de combustible de alto flujo durante las operaciones normales de la planta, es decir, después del encendido de la cámara de combustión. Como antes, la trayectoria de control de combustible de flujo bajo también incluye un interruptor automático en el punto de referencia 244 de modo que el flujo se fuerza a 0 si se genera la señal PARADA DE COMBUSTIBLE. De lo contrario, FCV-FL 246 se abrirá/cerrará automáticamente para permitir el flujo másico o volumétrico calculado de acuerdo con la trayectoria de control anterior.

El flujo de oxidante a la cámara de combustión a través de una línea de oxidante de bajo flujo (por ejemplo, la línea

122 en la FIG. 1) también se puede controlar basándose en parte en la trayectoria de control de la línea de combustible de bajo flujo. Esta vía de flujo de oxidante se basa inicialmente en una señal de empuje (EMPUJE BAJO) que se genera para predeterminar el flujo de oxidante inicial a la línea de flujo bajo y una señal de equivalencia (RELACIÓN EQ) que se genera para especificar la cantidad de flujo de oxidante total que se asigna a las diversas líneas de flujo de oxidante. En el punto de trayectoria 248, la señal EMPUJE BAJO y la señal RELACIÓN EQ se suman, y esta suma se usa como divisor para el valor que sale del punto de trayectoria 234 en la trayectoria de control de combustible de flujo bajo. En el punto de trayectoria 252 de la función, se calcula la relación de flujo de combustible a oxidante en las líneas de flujo bajo y luego se compara en el punto de trayectoria 258 con el flujo de oxidante real a través de la línea de oxidante de flujo bajo - FLUJO BAJO 256 - que se mide mediante el transductor de flujo 254. La relación de flujo puede basarse en los caudales másicos relativos de los materiales que fluyen a través de las líneas respectivas (por ejemplo, kilogramos (kg) por segundo) o puede basarse en los caudales volumétricos relativos de los materiales que fluyen a través de las líneas respectivas (por ejemplo, metros cúbicos por segundo). El diferencial tomado en el punto de trayectoria 258 se pasa al punto de trayectoria 260, donde el cambio automático utiliza de forma predeterminada el diferencial del punto de trayectoria 258. Sin embargo, el interruptor automático puede alternar a un valor de flujo preestablecido si el controlador genera una señal indicativa de ignición real del oxidante en la cámara de combustión, es decir, una señal de IGNICIÓN OX-LF ENCENDIDO. El flujo preestablecido puede tener cualquier valor; sin embargo, normalmente se puede mantener a un nivel relativamente bajo de modo que la mayor parte del flujo de oxidante pase a través de la línea de oxidante de alto flujo durante las operaciones normales de la planta, es decir, después de la ignición de la cámara de combustión. La válvula de control de flujo en la línea de oxidante de bajo flujo FCV-OL 262 se abrirá/cerrará automáticamente para permitir el flujo másico o volumétrico calculado de acuerdo con la trayectoria de control anterior.

El flujo de oxidante a través de la línea de oxidante de alto flujo puede controlarse mediante una vía dedicada similar a la descrita anteriormente para la línea de oxidante de bajo flujo. En algunas realizaciones, sin embargo, se puede generar una señal de DEMANDA DE OXIDANTE y enviarse al DCS para controlar la apertura y el cierre de la válvula de control de flujo de oxidante para la línea de oxidante de alto flujo. Como se muestra en la FIG. 2, el VALOR BAJO del punto de trayectoria 218 se puede dividir por la RELACIÓN EQ mencionada anteriormente en el punto de trayectoria 274. A partir de entonces, se puede ejecutar una función de cálculo en el punto 266 para calcular la relación de flujo del flujo total de combustible a través de todas las líneas de flujo de combustible al flujo total de oxidante a través de todas las líneas de flujo de oxidante. El resultado de la función en el punto de referencia 266 se envía entonces como señal 268 al DCS. El flujo de oxidante a través de las líneas de oxidante de alto flujo se puede calcular automáticamente en función de la señal DEMANDA DE OXIDANTE y el flujo a través del FCV-OL 262 que se calcula como se describe anteriormente. La relación de flujo puede basarse en los caudales másicos relativos de los materiales que fluyen a través de las líneas respectivas (por ejemplo, kg por segundo) o puede basarse en los caudales volumétricos relativos de los materiales que fluyen a través de las líneas respectivas (por ejemplo, metros cúbicos por segundo).

Además anterior, las relaciones de combustible a oxidante se pueden calcular basándose en uno o más de flujo de combustible, velocidad de la turbina, presiones del sistema o similares de acuerdo con la secuencia de funciones ilustrada en la FIG. 4g (HOJA 7), donde: FRAC-DIVIDIDA es la relación de fracción de combustible para la distribución de combustible entre FCV-FH y FCV-FL; EMPUJE-BAJO es el índice de equivalencia para FCV-FL; y RELACIÓN EQ es la proporción de combustible a oxidante. Cada uno de FRAC-DIVIDIDA, EMPUJE-BAJO y RELACIÓN EQ se calculan como funciones del flujo de combustible en masa o en volumen total a través de las líneas de combustible, medido por un transductor de flujo. Para cada uno de los tres, la señal se puede polarizar a un valor definido ("XX") a través de un generador de señal hasta que se genere la señal de LISTO PARA MODO SW que indica la preparación para cambiar del modo de inicio al modo de función completa. Como tal, todos FRAC-DIVIDIDA, EMPUJE-BAJO y RELACIÓN EQ pueden tener un valor inicial definido para flujos adecuados a través de las líneas de bajo flujo durante el arranque de la planta de energía. La HOJA 7 también ejemplifica rutinas de cálculo para evitar el sobrecalentamiento del intercambiador de calor. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el TCS puede configurarse para mantener o reducir la entrada de combustible a la cámara de combustión a través de una o ambas de la línea de combustible de alto flujo y la línea de combustible de bajo flujo. Dicho control puede basarse al menos en parte en una señal de retroalimentación de uno o más sensores y/o de un elemento de control que sea auxiliar al TCS. Dicha señal de retroalimentación puede basarse, por ejemplo, en un límite de velocidad en algunas realizaciones. En otras realizaciones, la señal de retroalimentación puede basarse en una variable de entrada, tal como un límite absoluto de temperatura, presión, tensión u otras variables. En algunas realizaciones, la señal de retroalimentación puede ser indicativa de un nivel de calor en uno o más de los intercambios de calor del recuperador que se acerca o excede un valor máximo predefinido. En tales casos, el sistema de control puede configurarse para mantener o reducir la entrada de combustible como se indica para controlar la temperatura de salida de la turbina y, por lo tanto, las temperaturas de funcionamiento de los intercambiadores de calor del recuperador.

La provisión de la señal de EMPUJE-BAJO puede permitir que la corriente de oxidante en el modo de arranque tenga una relación de equivalencia diferente a la corriente de oxidante en el modo de funcionamiento normal. Además, la señal de EMPUJE-BAJO permite la manipulación de las relaciones de equivalencia (relación de combustible a oxidante) para la línea alta y la línea baja independientemente una de otra. Si bien hay una relación general de combustible a oxidante que ingresa a la cámara de combustión, la relación de combustible a oxidante para la línea alta puede ser diferente de la relación de combustible a oxidante para la línea baja. Esto permite una capacidad

significativamente mayor para controlar con mayor precisión la función de la cámara de combustión. Además de alterar las proporciones de combustible a oxidante, la presente divulgación también prevé alterar la química de las corrientes de oxidante. Por ejemplo, la corriente oxidante puede incluir O_2 diluido con CO_2 , y la cantidad de CO_2 incluido en la corriente de oxidante se puede variar independientemente para las corrientes de oxidante asociadas con la línea alta y la línea baja. Por lo tanto, la concentración de oxígeno que ingresa a la cámara de combustión desde la línea alta puede variar independientemente de la concentración de oxígeno que ingresa a la cámara de combustión desde la línea baja. Por lo tanto, para todos los caminos de combustible/oxidante que conducen a la cámara de combustión, el presente sistema de control puede permitir que las relaciones de equivalencia sean diferentes y que la química de las corrientes de oxidante también sea diferente. A la luz anterior, un elemento de control según la presente divulgación puede adaptarse particularmente para ajustar una relación de masa o volumen de combustible que fluye a través de dos o más líneas de combustible diferentes desde el sistema de suministro de combustible hasta la cámara de combustión. Asimismo, un elemento de control según la presente divulgación puede adaptarse particularmente para ajustar una relación de una masa o un volumen de oxidante que fluye a través de dos o más líneas de oxidante diferentes desde un sistema de suministro de oxidante hasta la cámara de combustión. Además, un elemento de control según la presente divulgación puede adaptarse particularmente para ajustar una relación de una masa o un volumen de oxidante que fluye a través de una línea de oxidante hasta la cámara de combustión con respecto a la masa o un volumen de combustible que fluye a través de una línea de combustible hasta la cámara de combustión. En todos los casos, las relaciones de flujo pueden basarse en los caudales máscicos relativos de los materiales que fluyen a través de las líneas respectivas (por ejemplo, kg por segundo) o pueden basarse en los caudales volumétricos relativos de los materiales que fluyen a través de las líneas respectivas (por ejemplo, metros cúbicos por segundo).

Como se ve en lo anterior, la presente divulgación proporciona la capacidad de cambiar automáticamente entre el flujo de combustible a través de dos o más líneas de flujo. El flujo de combustible a través de dos o más líneas de flujo puede ser variable y las relaciones de flujo se pueden cambiar automáticamente en función de entradas definidas. Por lo tanto, en cualquier punto dado, del 0 % al 100 % del flujo de combustible a la cámara de combustión se puede asignar a cualquiera de las dos o más líneas de flujo de combustible.

Además de las trayectorias de control descritas en relación con la FIG. 2, el sistema de control puede implementar varias trayectorias de control adicionales para calcular diversas señales y valores utilizados para controlar el flujo de combustible y oxidante hacia la cámara de combustión. Por ejemplo, como se ve en la FIG. 1, la temperatura de entrada de la turbina (TIT) se puede utilizar en las trayectorias de control para determinar la señal de control de flujo de combustible adecuada.

Debido a las condiciones de alta temperatura y alta presión de los métodos de producción de energía, la medición directa de la temperatura en la entrada de la turbina puede resultar prohibitivamente difícil. En consecuencia, en realizaciones de la presente divulgación, los sistemas de control calculan TIT usando una pluralidad de rutinas de cálculo que pueden basarse en una variedad de entradas. Como se ilustra en la FIG. 4i (HOJA 9), se toma TIT como el valor más alto [$>H$] de tres rutinas de cálculo diferentes. Si se desea, se puede utilizar un mayor número de rutinas de cálculo. Además, solo se puede utilizar una única rutina de cálculo.

En la FIG. 4i (HOJA 9), una primera trayectoria para calcular la TIT es un cálculo directo de varios flujos a lo largo del sistema de producción de energía. Esto puede incluir recibir entradas en relación con la temperatura, la presión, el flujo máscico, el calor específico basado en las condiciones del flujo y el poder calorífico del combustible basado en el calor de formación de los productos, por ejemplo. Cada uno de los siguientes flujos (tomado como flujo máscico o flujo volumétrico) se mide en los respectivos elementos sensores de flujo ("FE"): flujo de combustible a través de la línea de combustible de alto flujo (COMBUSTIBLE HF); flujo de combustible a través de la línea de combustible de bajo flujo (COMBUSTIBLE LF); flujo de oxidante a través de la línea de oxidante de bajo flujo (LF-OXIDANTE); flujo de oxidante a través de la línea de oxidante de alto flujo (HF-OXIDANTE); flujo de CO_2 reciclado (por ejemplo, salir del compresor de reciclaje) para ingresar a la cámara de combustión (RECICLAR); y flujo de CO_2 para la corriente de enfriamiento de la boquilla (ENFRIAMIENTO DE BOQUILLA). Cada una de las siguientes presiones se mide en los respectivos transductores de presión ("PT"): presión para la línea de oxidante de bajo flujo (LF-OXIDANTE); presión para la línea de oxidante de alto flujo (HF-OXIDANTE); y presión para la corriente de CO_2 reciclado para la entrada a la cámara de combustión (RECICLAR). Cada una de las siguientes temperaturas se mide en los respectivos transductores de temperatura ("TT"): temperatura para el flujo a través de la línea de oxidante de bajo flujo (LF-OXIDANTE); temperatura para el flujo a través de la línea de oxidante de alto flujo (HF-OXIDANTE); y temperatura para el CO_2 reciclado flujo para la entrada a la cámara de combustión (RECICLAR). Este cálculo directo puede utilizar la energía y la masa totales que ingresan a la cámara de combustión y calcular el TIT teórico.

Una segunda rutina para calcular el TIT es un cálculo del rendimiento de la turbina que puede basarse en la relación de presión de la turbina. La presión de la corriente CO_2 reciclado de entrada a la cámara de combustión (RECICLADO) se divide por la presión de la corriente de la turbina que sale de la turbina (ESCAPE) medida por los respectivos transductores de presión ("PT"). El rendimiento de la turbina se calcula en función de esta relación de presiones y de la temperatura a la salida de la turbina de donde fluye el escape de la turbina (ESCAPE). Esta temperatura de salida de la turbina ("TOT") se mide con un transductor de temperatura ("TT"). Dicha rutina se puede modificar según sea necesario para tener en cuenta los flujos de enfriamiento a la turbina y la reducción del TOT de dichos flujos para evitar una subestimación significativa del TIT.

Una tercera rutina para calcular TIT puede realizar una estimación basada en la temperatura medida de la carcasa de la turbina o del espacio de la rueda. Dicha rutina puede incluir el uso de un EMPUJE, o compensación, para permitir la medición directa de las temperaturas del metal en la turbina (CARCASA INTERIOR) a través de un transductor de temperatura ("TT").

- 5 A medida que se ejecutan las tres rutinas anteriores, el sistema de control toma el mayor de los tres cálculos [$>H$] y lo utiliza para formar una señal de salida TIT-CALC. Esta salida se envía a otras trayectorias de control según sea necesario, como en la FIG. 2, como se ha descrito anteriormente.

En algunas realizaciones, la TIT puede no controlarse directamente sino que puede depender de la combinación de la temperatura de salida de la turbina (TOT) y la energía real de la turbina. En particular, el DCS se puede configurar para controlar TOT controlando el flujo másico hacia la turbina. Esto se puede adaptar para controlar el perfil de temperatura en los intercambiadores de calor primarios, limitar la fatiga termomecánica en las tuberías y los intercambiadores de calor y controlar la tasa de cambio de temperatura durante el arranque y el apagado. Por lo tanto, el TCS puede controlar la producción de energía de la turbina controlando el flujo de combustible. Debido a que es posible que la TIT no se controle directamente, puede ser necesario monitorizar la TIT por motivos de seguridad.

15 En algunas realizaciones, se puede adaptar una trayectoria de control de combustible para proporcionar una respuesta sustancialmente lineal a los cambios en el flujo. Como tal, se puede utilizar una configuración de válvulas múltiples en la que la trayectoria de control de combustible incluye una o más válvulas de control de flujo de combustible así como una o más válvulas de control de presión de combustible. Se puede utilizar una válvula de control de presión para controlar la caída de presión a través de una válvula de control de flujo de combustible aguas abajo o se puede utilizar para controlar la presión delante de una válvula de control de flujo de combustible aguas abajo. Estos (y otros puntos de control) se pueden utilizar para linealizar la respuesta de la válvula de control de flujo de combustible para permitir controles más lineales y predecibles y también para separar la válvula de control de flujo de combustible de las fluctuaciones de presión en la presión aguas arriba en el sistema de suministro de combustible.

25 Una trayectoria de control que incluye válvulas de control de presión de combustible como se ha indicado anteriormente se ilustra en la FIG. 4j (HOJA 10). Como se ve allí, se pueden incluir generadores de señales en las trayectorias de control tanto para la válvula de control de flujo del FCV-FH de alto flujo (elemento 232 en la FIG. 2) y la válvula de control de flujo del FCV-FL de bajo flujo (elemento 246 en la FIG. 2). En cada caso, se puede establecer un punto de ajuste de presión de modo que la caída de presión a través de la FCV respectiva se mantenga a una presión definida, que puede ser un punto de ajuste de presión mínimo (es decir, "XX bar"). También se puede establecer un porcentaje de carrera de válvula correspondiente para el flujo alto y para el flujo bajo (donde "XX %" indica el porcentaje de carrera de la válvula variable) de modo que cuando se alcance el punto de ajuste de la carrera de la válvula, el punto de ajuste de la caída de presión aumente para aumentar el suministro de combustible. Esto se ve con la función % bar $f(x)$ y la función de selección alta ($>H$) en cada línea. Dicha configuración de trayectoria de control puede proporcionar una operación automática independientemente del modo de la planta de energía (por ejemplo, arranque versus operación completa).

Además anterior, se pueden incluir uno o más transductores de presión en una trayectoria de control para mantener la caída de presión más baja a través de una válvula de control de presión en un valor fijo. En la FIG. 4j (HOJA 10), se utilizan tres transductores de presión para proporcionar señales de presión relacionadas con la PRESIÓN AGUAS ARRIBA DE FCV-FH, la presión de descarga del compresor de gas combustible o DESCARGA COMP FG y la PRESIÓN AGUAS ARRIBA DE FCV-FL. Se puede utilizar una secuencia lógica para seleccionar la más baja de las tres presiones medidas [$>L$]. Posteriormente, el controlador genera un valor para la presión de escape del compresor de gas combustible (PUNTO DE AJUSTE PRES FG) basado en esta caída de presión más baja y entrega la señal al DCS. El cálculo de flujos a través de PCV-FH y PCV-FL también considera la PRESIÓN AGUAS ABAJO DE FCV-FH y la PRESIÓN AGUAS ABAJO DE FCV-FL, respectivamente, cada una de las cuales es medida por sus respectivos transductores de presión. Estos proporcionan valores reales de presión de flujo de corriente que se comparan con los valores mínimos como se analizó anteriormente.

En algunas realizaciones, solo se puede utilizar una única caída de presión. Por ejemplo, durante el arranque, es posible utilizar únicamente la caída de presión en PCV-FL. Preferiblemente, se utiliza una configuración mínima basada en la clasificación mínima de rendimiento del compresor. Esta presión mínima (por ejemplo, "min bar") se ingresa a través de un generador de señales, y la presión más alta se selecciona como se indica mediante una función de selección alta [$>H$]. La utilización de una o más válvulas de control de presión aguas arriba de las válvulas de control de flujo de combustible puede, en algunas realizaciones, proporcionar el mantenimiento de un control constante de la presión del gas combustible únicamente mediante la variación de la salida de presión del compresor de gas combustible. Nuevamente, se pueden brindar consideraciones especiales durante el modo de inicio. Por ejemplo, se puede usar un generador de señales para forzar una válvula de control de presión al 0 % durante el arranque para garantizar que la válvula permanezca cerrada y que no haya presión en la línea de combustible de alta entre la PCV y la FCV. En el momento apropiado, una señal SW LISTO PARA MODO puede indicar un cambio de un modo de arranque a un modo de función completa, y esta señal puede hacer que un generador de señales abra la válvula PCV-FH a una configuración predeterminada (Y %). La conmutación necesaria se realiza mediante interruptores automáticos ("ASW"). Cuando ocurre el cambio del modo de arranque al modo de operación normal, la caída de presión a través de la válvula se controla normalmente como se indicó anteriormente.

Un diagrama simplificado del sistema de gas combustible para una central eléctrica según la presente divulgación se muestra en la FIG. 3. Como se ve allí, la línea principal de combustible 301 que sale de un compresor de gas combustible 300 se divide en una línea primaria o alta 310 y una línea secundaria o baja 320. La línea de alto combustible 310 incluye una válvula de control de presión 312, una válvula de control de flujo 314 y un elemento sensor de flujo 315. Un sensor de presión 313 está colocado entre la válvula de control de presión 312 y la válvula de control de flujo 314, y un sensor de presión 315 está colocado entre la válvula de control de flujo 314 y el elemento sensor de flujo 316. La línea de bajo combustible 320 incluye también una válvula de control de presión 322, una válvula de control de flujo 324 y un elemento sensor de flujo 325. Un sensor de presión 323 está colocado entre la válvula de control de presión 322 y la válvula de control de flujo 324, y un sensor de presión 325 está colocado entre la válvula de control de flujo 324 y el elemento sensor de flujo 326. Un sensor de presión 305 también está colocado en la línea principal de combustible 301 aguas arriba de la división entre la línea alta 310 y la línea baja 320. En ciertas realizaciones, la válvula 312 puede corresponder a PCV-FH, la válvula 314 puede corresponder a FCV-FH, la válvula 322 puede corresponder a PCV-FL y la válvula 324 puede corresponder a FCV-FL. Con referencia a la FIG. 3 y a la FIG. 4j (HOJA 10), PT 305 puede medir la DESCARGA DE FG COMP, PT 313 puede medir la PRESIÓN AGUAS ARRIBA DE FCV-FH, PT 315 puede medir la PRESIÓN AGUAS ABAJO DE FCV-FH, PT 323 puede medir la PRESIÓN AGUAS ARRIBA DE FCV-FL y PT 325 puede medir la PRESIÓN AGUAS ABAJO DE PCV-FH.

Además de proporcionar un control específico sobre el flujo de combustible a la cámara de combustión, los sistemas de control de la presente divulgación pueden configurarse para controlar diversos aspectos del flujo de oxidante a la cámara de combustión. Como se ilustra en la FIG. 4k (HOJA 11), el sistema de control puede incluir vías adaptadas para mantener la caída de presión a través de la válvula de control de bajo flujo de oxígeno (POSICIÓN FCV-OL) en un valor definido. Se puede proporcionar un porcentaje preestablecido a través de un generador de señal (SG - XX %), y se puede elegir cualquier porcentaje como porcentaje máximo. Este máximo se compara con el flujo real a través del FCV-OL ingresado por el TCS. La trayectoria de control también incluye un generador de señal para la entrada de una presión de flujo mínima que se puede preestablecer según se desee (bar SG - BB), y se utiliza una función de selección alta (>H) para enviar el valor requerido a la siguiente trayectoria de control. El sistema de control se puede configurar para aumentar el punto de ajuste de la caída de presión a través del FCV-OL. Este cambio en el punto de ajuste puede señalar un cambio en el punto de ajuste de la presión de oxidante (PUNTO DE AJUSTE PRES OX) enviado al DCS, cuya señal se utiliza para las trayectorias de control en relación con los compresores y/o bombas utilizadas en la planta de energía. Esto permite un control suave y continuo en los distintos modos de funcionamiento. La capacidad de satisfacer el punto de ajuste de presión de oxidante depende de la coordinación del compresor de oxidante y la bomba de oxidante en relación con un valor de PRESIÓN DE CÁMARA DE COMBUSTIÓN de un transductor de presión PT y el valor de PRESIÓN DE ENTREGA DE OXIDANTE de un transductor de presión PT. Cuando la bomba se va a poner en línea, el DCS se puede adaptar para notificar al TCS que retenga la señal de combustible, ya que el flujo de oxidante depende de la señal de combustible. De esta manera, el sistema de control de la presión del oxidante se simplifica, se alinea con el flujo de combustible y se vuelve automático.

Como se desprende anterior, los presentes sistemas de control se pueden configurar de manera que la demanda de energía sea controlada por la entrada de combustible. En particular, el TCS puede controlar la entrada de combustible para cumplir con la señal de DEMANDA DE ENERGÍA. Las combinaciones de válvulas de control de flujo y válvulas de control de presión se pueden controlar automáticamente y proporcionar un control y operación suaves en toda la gama necesaria de controles para el funcionamiento de la turbina. Por lo tanto, el ciclo de energía resultante responde menos a los cambios en la entrada de combustible que en las turbinas de gas convencionales. Según la presente divulgación, los cambios en el control de combustible son más indulgentes ya que se requiere menos precisión y un tiempo de respuesta más lento puede aumentar la seguridad de la operación.

En algunas realizaciones, se pueden utilizar varias trayectorias de control en relación con el enfriamiento de la turbina. Por ejemplo, se puede proporcionar un control automatizado para que una o más corrientes de enfriamiento, tales como una porción de la corriente de CO₂ reciclado, puede dirigirse a la turbina para su enfriamiento, y se pueden utilizar trayectorias de control para controlar uno o más de flujo másico, presión, temperatura y fuente de las corrientes de enfriamiento. En algunas realizaciones, las corrientes de CO₂ pueden retirarse de una o más posiciones en la trayectoria de recalentamiento a través del intercambiador de calor del recuperador (por ejemplo, el elemento 35 en la FIG. 1). Haciendo referencia a la FIG. 4l (HOJA 12), se ilustran dos trayectorias de control alternativas: un control de flujo sesgado por temperatura en la trayectoria superior y un esquema de control individual en la trayectoria inferior. En la trayectoria de control superior, el TCS puede configurar un punto de ajuste de flujo másico para el flujo de enfriamiento de las palas (SP FLUJO DE ENFRIAMIENTO DE PALAS) y usarlo para controlar dos válvulas de enfriamiento en dos intervalos de temperatura diferentes: VÁLVULA FRÍA DE ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS y VÁLVULA CALIENTE DE ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS (aunque se pueden usar más o menos válvulas) basándose en el diferencial (Δ) contra el FLUJO DE ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS real medido proporcionado por el transductor de flujo de FLUJO DE ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS ("FT"). La diferenciación entre "frío" y "caliente" hace referencia a las temperaturas relativas a las que las corrientes de CO₂ se retiran del intercambiador de calor. Por ejemplo, la VÁLVULA CALIENTE DE ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS se ilustra en la FIG. 5 como válvula 553, y la VÁLVULA FRÍA DE ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS se ilustra en la FIG. 5 como válvula 552. Como ejemplo, se puede incluir un elemento de control de flujo en comunicación con la válvula 552, y se puede incluir un elemento de control de temperatura en comunicación con la válvula 553. El elemento de control de temperatura se puede configurar para desviar las señales de control que se envían a las válvulas de control de flujo de ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS

para mantener el control de temperatura. En la trayectoria de control, se puede proporcionar un punto de ajuste de temperatura de enfriamiento de las palas (SP TEMP ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS) a través del TCS y compararlo con la TEMPERATURA DE ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS real medida por un transductor de temperatura ("TT"). Para establecer tolerancias definidas, se puede ingresar una temperatura máxima permitida a través de un generador de señal (SG MAX °C) y se puede usar una función de selección baja (>L) para comparar la temperatura máxima con SP TEMP ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS. El valor seleccionado pasa a una función de selección alta (>H) para compararse con una temperatura mínima permitida que se ingresa a través de un generador de señal (SG MIN °C). El valor final se compara en la función diferencial (Δ) con la TEMP ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS.

En la trayectoria de control inferior, la válvula caliente de enfriamiento (VÁLVULA CALIENTE DE ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS) se usa para controlar el flujo que ingresa a la línea de enfriamiento de las palas según una rutina comparativa entre la entrada SP FLUJO DE ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS desde el TCS y el FLUJO DE ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS desde un transductor de flujo ("FT"). Como antes, el punto de ajuste de la temperatura de enfriamiento (SP TEMP DE ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS) se compara con la TEMPERATURA DE ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS medida desde un transductor de temperatura ("TT"), incluidas las comprobaciones de tolerancia, y el diferencial se usa para controlar la VÁLVULA FRÍA DE ENFRIAMIENTO DE LAS PALAS. Como se ve a partir de lo anterior, el sistema de control puede adaptarse particularmente para mantener o disminuir la masa o volumen de combustible que fluye a través de al menos una de las líneas de flujo de combustible desde el sistema de suministro de combustible a la cámara de combustión para proteger uno o más de los intercambiadores de calor contra el sobrecalentamiento. La función de control puede ser en respuesta a una señal de entrada que indica que la temperatura operativa de un intercambiador de calor se acerca o excede la temperatura operativa máxima predefinida o la tasa de aumento de calor.

En particular, se pueden utilizar varias trayectorias de control en la puesta en marcha de la planta de producción de energía, incluido el uso de rutinas coordinadas entre el TCS y el DCS. Como tal, la presente divulgación puede referirse particularmente a métodos y controles para la puesta en marcha de una planta de producción de energía. Los procedimientos de arranque en particular pueden depender de controles coordinados del flujo de combustible y del flujo de oxidante a medida que la cámara de combustión y la turbina se ponen en funcionamiento. Trayectorias de control de ejemplo relacionadas con el inicio del arranque de la planta se muestran en la FIG. 4b (HOJA 2). En tales realizaciones, el DCS enviará una señal de PREPARACIÓN PARA ARRANCAR después de asegurarse de que los sistemas de toda la planta estén listos. El TCS habilitará y pondrá en marcha cualquier subsistema necesario para el arranque y el encendido: ARRANQUE DE EHC (control electrohidráulico); ARRANQUE DE ACEITE LUBRICANTE; ARRANQUE DE LCI (inversor de carga conmutada); ARRANQUE DE OTROS. Estas señales de inicio se correlacionan con señales de listo que pueden iniciar el giro del árbol principal (ARRANQUE DE ENGRANAJE DE GIRO) e iniciar la SEC DE PURGA DE COMBUSTIBLE (secuencia) para garantizar que se purgue todo el combustible de las líneas antes de iniciar el encendido de la cámara de combustión. Es posible que se requieran señales de LISTO adicionales como permisivas antes de estas iniciaciones: ACEITE LUBRICANTE LISTO; LCI LISTO; OTROS LISTO; EHC LISTO. Como ejemplo específico, la presión del ACEITE LUBRICANTE se puede leer desde un transductor de presión (PT) para confirmar que se ha alcanzado una presión mínima ("P min"). La siguiente trayectoria de control puede incluir una entrada requerida del TCS que indica que las acciones para purgar el combustible del sistema están completas (señal de PURGA COMPLETA) y una lectura requerida de que la VELOCIDAD DEL ÁRBOL ha alcanzado un intervalo mínimo ("rpm min"). En este punto, el DCS puede iniciar una señal LISTO PARA ARRANCAR.

Otras trayectorias de control útiles para controlar la puesta en marcha de la planta de energía se ilustran en la FIG. 4c (HOJA 3). Como se ve allí, los controles de arranque pueden incluir un requisito para una señal de llenado que indique que las líneas necesarias están llenas con fluido de trabajo (por ejemplo, CO₂), una señal de SISTEMA LLENO desde el DCS debe combinarse con una señal de LISTO PARA ARRANCAR que se puede generar como se describe anteriormente para que el arranque continúe. También pueden ser necesarias otras señales permisivas. Como se ilustra, la SUCCIÓN DEL COMPRESOR DE CO₂, medida por un transductor de presión (PT), debe cumplir con un requisito de presión mínima variable ("XX bar"). El cumplimiento de estos requisitos puede indicarle al TCS que retire el árbol principal del engranaje de giro (señal de DETENER EL ENGRANAJE DE GIRO) y lo coloque bajo control del LCI (señal ARRANQUE DE LCI). El LCI se puede controlar de acuerdo con una pluralidad de generadores de señales (SG) configurados en 0 rpm o rpm variables (que se muestran como "ZZ" rpm, "XX" rpm, "YY" rpm y "QQ" rpm) e interruptores automáticos. (ASW) para garantizar que la turbina aumente de acuerdo con puntos de ajuste predefinidos que pueden incluir ajustes automáticos de la velocidad de rotación basados en una señal que confirma la sincronización de velocidad entre el compresor y la turbina (VELOCIDAD DE SINC), una señal que confirma que la velocidad necesaria para el encendido de la cámara de combustión (IGNICIÓN DE SPD), y una señal que confirma la sincronización de ciertos componentes del sistema (SINC COMPLETA 8). La confirmación de los distintos puntos de ajuste de velocidad de la turbina genera la entrega de una señal de REF DE VELOCIDAD LC al TCS. Cuando el árbol principal gira a la velocidad predefinida (ZZ rpm), se activa un temporizador. Una vez que se completa el tiempo transcurrido y se cumplen los puntos de ajuste de velocidad de la turbina, se genera una señal de LISTO PARA ARRANCAR y se envía al DCS y se utiliza en otras vías para continuar con el cambio al funcionamiento total de la planta de energía.

Todavía otras trayectorias de control útiles para controlar la puesta en marcha de la planta de energía se ilustran en la FIG. 4d (HOJA 4). Como se ve allí, la trayectoria de control de arranque requiere la recepción de la señal de LISTO PARA ARRANCAR analizada anteriormente y una señal de OK PARA ARRANCAR del DCS para que la turbina se

acelere a la velocidad de encendido. Mientras la velocidad del eje medida todavía está por debajo de la velocidad de encendido, el TCS envía al DCS la señal de PREPARAR IGNICIÓN y el DCS responde activando más elementos de la planta de producción de energía en los ajustes preestablecidos de ignición. Luego se recibe la señal de OXÍGENO LISTO del DCS y el TCS responde enviando la señal de ARRANQUE DE OXÍGENO al DCS siempre que se cumplan los requisitos adicionales: 1) la velocidad del árbol está en el valor de ignición, que puede preestablecerse según se desee (YY rpm); 2) el DCS responde con una señal de ignición lista (LISTO PREPARAR IG) después de la señal PREPARAR IGNICIÓN; 3) cualquier otra señal permisiva (OTROS PERMISIVOS) está presente; 4) hay confirmación de que no se requiere una purga del sistema, es decir, la SOLICITUD DE PURGA DEL SISTEMA es negativa; y 5) hay confirmación de que la secuencia de encendido no ha terminado, es decir, IGNICIÓN FINALIZADA es negativa. Al recibir la señal de OXÍGENO LISTO y la señal de ARRANQUE DE OXÍGENO del DCS, el DCS inicia la secuencia de ignición. A continuación se activa un temporizador de retardo de combustible y la válvula de combustible de bajo flujo (FCV-FL) se abre a una posición predeterminada. Esto da tiempo para que se llenen las líneas de oxidante de modo que el combustible y el oxidante se introduzcan en la cámara de combustión sustancialmente al mismo tiempo. A partir de entonces, el sistema de control entrega una pluralidad de señales para su uso en trayectorias de control adicionales. Cuando comienza la secuencia de ignición, la señal para el sistema de encendido es al TCS (IGNICIÓN ENCENDIDA) y se inicia un temporizador para el inicio del combustible. El inicio del combustible inicia un segundo temporizador para la detección de ignición. Se puede incluir un circuito de retorno para que un fallo de ignición restablezca la secuencia de ignición. Si no se detecta la ignición antes de que expire la señal del temporizador, se envía la señal de FALLO DE IGNICIÓN. La señal se puede mantener en un valor alto durante un tiempo establecido para permitir que el DCS tenga el tiempo necesario para procesar y configurar la señal SOLICITUD DE PURGA DEL SISTEMA y pausar los intentos de reencendido si es necesario. La DETECCIÓN DE LLAMA debe persistir durante un temporizador preestablecido antes de que pase la señal de ignición para eliminar las chispas de la llama. El sistema de detección de ignición desactivará el encendedor cuando se detecte la ignición y la señal de ÉXITO DE IGNICIÓN se enviará a otras trayectorias de control.

Como se ve en la FIG. 4e (HOJA 5), la señal de ÉXITO DE IGNICIÓN se utiliza en trayectorias de control adaptadas para controlar la presión a través del sistema durante la transición del arranque al funcionamiento completo. Las trayectorias de control se pueden adaptar, por ejemplo, para mantener baja la presión en el sistema durante el arranque. La señal EN EL PUNTO 1 enviada al DCS, por ejemplo, puede correlacionarse con que el compresor esté a una presión de aproximadamente 10 bar. Luego, el sistema de control aumenta la presión una vez que el compresor funciona a máxima velocidad. La señal EN EL PUNTO 2, por ejemplo, puede correlacionarse con que el compresor esté a una presión de aproximadamente 30 bar.

La FIG. 4f (HOJA 6) y FIG. 4h (HOJA 8) ilustran aún más trayectorias de control que muestran puntos de paso a lo largo de la rutina de arranque. Por ejemplo, en la HOJA 6, el sistema de control utiliza varias señales que, entre otras acciones, pueden cambiar el flujo de combustible en relación con la aceleración de la turbina hasta una velocidad de funcionamiento total. La HOJA 8 ilustra la interacción del Sistema de control del generador (GCS) con la sincronización de los distintos sistemas durante la transición del arranque al funcionamiento completo. La FIG. 4m (HOJA 13) ilustra trayectorias de control para controlar el empuje de la turbina comparando los valores medidos con una señal de EMPUJE PERMITIDO recibida desde el TCS. Se pueden proporcionar trayectorias de control adicionales para garantizar una operación segura, como se ilustra en la FIG. 5n (HOJA 14). Por ejemplo, el sistema de control se puede adaptar para iniciar la señal de PARADA DE COMBUSTIBLE en respuesta a recibir señales adicionales que indiquen que el encendido falló y/o el encendido anterior se ha apagado, es decir, NO SINCRONIZADO; FALLO DE IGNICIÓN; y señales de SINC EXTINCIÓN DE LLAMA. El inicio de la señal PARADA DE COMBUSTIBLE también puede iniciar la apertura de varias válvulas y respiraderos para que el combustible y/u oxidante en las líneas puedan ventilarse de manera segura.

Además de la descripción anterior, la referencia a la HOJA 1 a la HOJA 14 en la FIG. 4a a la FIG. 4n se proporciona para ilustrar trayectorias de control de ejemplo que se pueden utilizar de acuerdo con realizaciones de la presente divulgación y para facilitar la referencia para señales que se originan en una trayectoria de flujo que se usan como entradas en otra trayectoria de flujo. Cada uno de los respectivos diagramas de flujo se puede ver individualmente y, como tal, se pueden definir aspectos de la presente divulgación en relación con todo o parte de un único diagrama de flujo en una de dichas HOJAS. En otras realizaciones, los respectivos diagramas de flujo se pueden leer en combinación y, como tal, se pueden definir aspectos de la presente divulgación en relación con combinaciones de todo o parte de dos o más de dichas HOJAS. En otras palabras, uno o más elementos de cualquiera de la HOJA 1 a la HOJA 14 (figura 4a a la FIG. 4n) podrán combinarse con uno o más elementos de cualquier otro de la HOJA 1 a la HOJA 14 (figura 4a a la FIG. 4n). Las posibles combinaciones de los diversos diagramas de flujo serán evidentes en base a la descripción adicional proporcionada en el presente documento.

En la FIG. 4a a la FIG. 4n, varios símbolos tienen significados universales. Los cuadros de cartel con un extremo puntiagudo representan señales que ingresan a una trayectoria de control o que salen de una trayectoria de control. Diversos cuadros de cálculo de funciones tienen el significado generalmente reconocido en la técnica. Los cuadros con la señal "Δ" indican que se calcula un diferencial en función de las entradas. Los cuadros con "f(x)" indican que se está llevando a cabo una función de cálculo. Los cuadros con "P" o "I" indican "proporcional" e "integral", respectivamente. Aunque solo se muestran los cuadros "P" e "I", se entiende que las trayectorias de control ilustradas pueden utilizar un mecanismo de retroalimentación de bucle de control típico en el que un controlador "PID" (proporcional, integral, derivativo) calcula un valor de error como la diferencia entre un punto de ajuste deseado y una

variable de proceso medida y aplica una corrección basada en términos proporcionales, integrales y derivativos. Por lo tanto, se puede usar cualquiera o todos P, I y D de acuerdo con la presente divulgación. Los cuadros con un símbolo "+", "-", "X" o "÷" indican la suma de valores, la resta de valores, la multiplicación de valores y la división de valores, respectivamente. Los cuadros con "ASW" indican la presencia de un interruptor automático. Los cuadros con "SG" indican un generador de señal donde se genera un valor de entrada predefinido, cuya señal puede tener un valor específico (representado por un número en el cuadro) o puede tener un valor variable (indicado por un indicador de valor genérico, por ejemplo, "xx", "nn", etc.). Los cuadros con "AM" indican que un valor se almacena en un componente de memoria analógica. Los cuadros con >H o >L indican una selección del valor de entrada más alto o del valor de entrada más bajo, respectivamente. Los cuadros con entradas numeradas "1" y "2" indican que la entrada "1" se utiliza hasta que se recibe una tercera entrada (no numerada), momento en el que la entrada número "1" se reemplaza por la entrada número "2". Los cuadros con "**H" indican un paso alto en el que la señal solo está presente si la entrada real excede el valor establecido. Los cuadros con "**L" indican un paso bajo en el que la señal solo está presente si la entrada real es menor que el valor establecido. El uso de círculos en lugar de cuadros indica una entrada de un sensor.

Las aplicaciones de varias trayectorias de control en el control de sistemas y métodos de producción de energía según la presente divulgación se ilustran en la FIG. 5. Como se ve allí, un sistema de generación de energía 500 comprende una pluralidad de componentes configurados para la combustión de un combustible con oxígeno a alta presión para formar una corriente de combustión que se expande a través de una turbina, se enfría, se purifica y se recicla de regreso a la cámara de combustión como un líquido de trabajo. El sistema de generación de energía 500 incluye un sistema de control principal 501 que está en una conexión de trabajo a través de la línea de comunicación 501a con una pluralidad de líneas de comunicación adicionales como se describe con mayor detalle a continuación. Un único sistema de control 501, como se ilustra, puede ser un DCS como se describe de otro modo aquí, un TCS como se describe de otro modo aquí, un GCS como se describe de otro modo aquí, o cualquier sistema de control general adicional adecuado para leer entradas y proporcionar salidas para el control de una fuente de alimentación. método de producción llevado a cabo con un sistema de producción de energía 500 como se ilustra. Se entiende que se pueden utilizar una pluralidad de sistemas de control y, por simplicidad, solo se ilustra un único sistema de control 501. Se puede considerar además que el sistema de control 501 abarca una pluralidad de sistemas de control separados, tales como cualquier combinación de un DCS, TCS y GCS.

En la práctica de un método de producción de energía según la presente divulgación, un combustible (por ejemplo, metano, gas de síntesis u otro combustible gaseoso de una fuente de combustible - véase el elemento 115 en la FIG. 1) se comprime en un compresor de gas combustible 502, y el combustible comprimido puede pasar a través de una o ambas de una línea de combustible primaria 503 (o una línea de combustible de alto flujo) y una línea de combustible secundaria 504 (o una línea de combustible de bajo flujo) a una cámara de combustión 511. El flujo a través de la línea de combustible primaria 503 y la línea de combustible secundaria 504 se puede controlar mediante la apertura y el cierre automatizados de una válvula de control de combustible de alto flujo 505 (por ejemplo, FCV-FH) y una válvula de control de combustible de bajo flujo 506 (por ejemplo, FCV-FL), respectivamente. La línea de combustible primaria 503 puede ser una línea de gran capacidad con respecto a la línea de combustible secundaria 504, y la mayor parte del flujo de combustible hacia la cámara de combustión durante el funcionamiento completo del sistema de producción de energía 500 puede realizarse a través de la línea de combustible primaria. Si bien el combustible también puede fluir a través de la línea de combustible secundaria 504 durante el funcionamiento completo, esta línea puede usarse principalmente durante el arranque del sistema de producción de energía 500 como se describe de otro modo en el presente documento.

Oxidante desde un suministro de oxidante (por ejemplo, el elemento 120 en la FIG. 1) puede fluir a través de la línea de oxidante principal 507, que puede controlarse mediante una válvula 508. El oxidante (que puede ser una corriente de oxígeno sustancialmente puro procedente de una unidad de separación de aire, por ejemplo) se combina con CO₂ reciclado desde la corriente 546 para formar una corriente de oxidante diluido en la línea 509, que pasa a través de un intercambiador de calor 510 y luego se comprime en el compresor de oxidante 512. A continuación, la corriente de oxidante diluido comprimido se enfría en el intercambiador de calor 513 y se bombea a través de la bomba 514 y la válvula 515. Luego, la corriente de oxidante comprimida se calienta secuencialmente haciéndola pasar a través de los intercambiadores de calor del recuperador 519, 528, 527 y 526 antes de pasar a la cámara de combustión 511 en la línea de oxidante primario 516. Se puede extraer una fracción de la corriente de oxidante diluido comprimido para pasarla a la cámara de combustión 511 en la línea de oxidante secundaria 517 a través de la válvula 571. Entre el compresor de oxidante 512 y el intercambiador de calor 513, una porción del oxidante diluido se puede extraer en la línea 565 a través de la válvula 566 para su recirculación a la línea que sale de la válvula 564 y el último paso de regreso a la línea 509. Opcionalmente, una porción de la corriente de oxidante diluida entre la bomba 514 y la válvula 515 se puede extraer en la línea 567 a través de la válvula 568 para su recirculación a la línea 509 entre el compresor 512 y el intercambiador de calor 513. También opcionalmente, una porción de la corriente de oxidante diluida entre la válvula 515 y el intercambiador de calor del recuperador 529 se puede extraer en la línea 569 a través de la válvula 570 para su recirculación a la línea 509 entre el intercambiador de calor 513 y la bomba 514.

El combustible de la línea de combustible primaria 503 y/o la línea de combustible secundaria 504 se quema en la cámara de combustión 511 con oxidante a través de la línea de oxidante primaria 516 y/o la línea de oxidante secundaria 517 para producir una corriente de producto de combustión a alta presión (por ejemplo, en el intervalo de aproximadamente 100 bar a aproximadamente 500 bar, preferiblemente aproximadamente 150 bar a

aproximadamente 400 bar) y a alta temperatura (por ejemplo, en el intervalo de aproximadamente 400 °C a aproximadamente 1500 °C, preferiblemente aproximadamente 600 °C, preferiblemente aproximadamente 600 °C a aproximadamente 1200 °C) que se expande en la turbina 525 a una presión que es menor que la presión de combustión y preferiblemente es menor que la presión supercrítica de CO₂ (por ejemplo, aproximadamente 1 bar a aproximadamente 75 bar). Una corriente de CO₂ también se puede introducir en la línea 518 a través de la válvula 519 para su paso al compresor 520 con sello de prensa a través de la línea 521 (que se ilustra en línea discontinua para indicar un flujo opcional). Una fracción del escape de la turbina pasa a través de sellos de prensaestopas 522. Posteriormente, la corriente se enfría en el intercambiador de calor 523 antes de pasar al compresor 520 con sello de prensaestopas. La corriente que sale del compresor 520 con sello de prensaestopas puede ventilarse a través de la línea 524 o puede recircularse a un punto aguas arriba del intercambiador de calor 523 en la línea 530. El paso a través de la línea 524 se controla con las válvulas 531 y 532, mientras que el paso a través de la línea 530 de recirculación se controla con la válvula 533. Otras configuraciones relacionadas con sellos de prensaestopas y componentes asociados en un sistema de producción de energía se describen en la publicación de patente US 2016/0363009 de Fetvedt et al.

La corriente de escape de la turbina principal sale de la turbina 525 por la línea 534 para pasar secuencialmente a través de los intercambiadores de calor recuperadores 526, 527, 528 y 529. Se puede extraer una corriente lateral de la línea 534 a través de la válvula 535 y pasar en la línea 536 a través del intercambiador de calor del recuperador 526 antes de volver a unirse con la línea 534. Opcionalmente, parte o toda la corriente en la línea 536 puede pasar a través de la válvula 537 para reunirse con el escape de la turbina en la línea 534 aguas abajo del intercambiador de calor del recuperador 529. Además, una porción del escape de la turbina en la corriente 534 puede pasar a través de la línea 538 para ventilar la línea 524. Opcionalmente, una porción del escape de la turbina del compresor 520 con sello de prensaestopas en la línea 524 puede retirarse aguas arriba de la válvula 531 y pasar a través de la válvula 539 para volver a unirse con el escape de la turbina en la línea 534 aguas abajo del intercambiador de calor del recuperador 529.

La corriente de escape de la turbina en la línea 534 pasa a continuación a través del condensador 540 para eliminar el agua de la corriente de escape de la turbina. El agua condensada se extrae por la línea 541 a través de la válvula 542. Una fracción del agua condensada puede recircularse de regreso al condensador en la línea 543 pasando a través de la bomba 544 y el intercambiador de calor 545. Al separar el agua, se genera una corriente sustancialmente pura de CO₂ reciclado se entrega desde el condensador 540 a través de la línea 546. El CO₂ reciclado se puede pasar a través de una variedad de líneas para diluir varias corrientes, para reciclarlo de regreso a la cámara de combustión como fluido de trabajo, para usarlo como refrigerante y para ventilación opcional. Una parte del CO₂ reciclado puede capturarse como producto para secuestro, para uso en EOR o para otros usos.

El CO₂ reciclado en la línea 546 particularmente se pasa al compresor de CO₂ reciclado 548 a través de la línea 547. El CO₂ reciclado comprimido pasa a través del intercambiador de calor 549 para aumentar la densidad del CO₂ reciclado antes de ser bombeado en bomba de CO₂ 550 a la presión para la entrada a la cámara de combustión 511. La corriente de CO₂ reciclado a alta presión a continuación pasa secuencialmente por la línea 551 de regreso a través de los intercambiadores de calor del recuperador 529, 528, 527 y 526 para recalentarse a la temperatura de entrada a la cámara de combustión 511. Una parte del CO₂ reciclado a alta presión se puede extraer a diferentes temperaturas para su uso como refrigerante en la cámara de combustión combinada 511 y la turbina 525. En particular, se puede extraer a través de la válvula 552 a una temperatura intermedia entre los intercambiadores de calor de los recuperadores 527 y 528 y se puede extraer a través de la válvula 553 a una temperatura más alta entre los intercambiadores de calor de los recuperadores 526 y 527 para pasar a través de la línea 554. Si bien se ilustra una única válvula para cada una de las válvulas 552 y 553, se entiende que se puede usar una serie de válvulas (por ejemplo, dos, tres o más) en cada caso. En realizaciones opcionales, una parte de la corriente de CO₂ reciclado se puede tomar desde la línea 547 entre el intercambiador de calor 549 y la bomba 550 y pasar a través de la válvula 555 en la línea 556 a la línea 551 entre la bomba 550 y el intercambiador de calor del recuperador 529. Además anterior, una parte del escape de la turbina en la línea 534 se puede extraer antes del paso a través del condensador 540 y combinarse con la corriente de CO₂ reciclado en la línea 547. En particular, el escape de la turbina se aspira a través de la válvula 557 en la línea 558 y se comprime en el compresor de gas caliente 559. Una porción del gas que sale del compresor de gas caliente 559 puede recircularse en la línea 560 a través del intercambiador de calor 561. La porción restante del gas pasa por la línea 562 para enfriarse en los intercambiadores de calor recuperadores 528 y 529 antes de pasar a través de la válvula 563 y combinarse con la corriente de CO₂ reciclado en la línea 547 entre el compresor 548 y el intercambiador de calor 549. Aguas arriba de este punto, una parte de la corriente de CO₂ reciclado puede pasar en la línea 573 a través de la válvula 574 a la corriente de escape de la turbina 534 entre el intercambiador de calor del recuperador 529 y el condensador 540.

También entre el compresor 548 y el intercambiador de calor 549, una porción de la corriente de CO₂ reciclado se extrae por la línea 572 para su entrada al compresor de oxidante 512. Esto se suma a la parte de la corriente de CO₂ reciclado que pasa desde la válvula 564 para agregarse al oxígeno que fluye en la línea de oxidante principal 507. Además, una porción de la corriente en la línea 572 se puede extraer para su entrada a la línea 524 entre la válvula 531 y el compresor 520.

Como se ve en la FIG. 5, el sistema de producción de energía 500 incluye una serie de elementos de control (círculos sombreados) y sensores asociados (rectángulos sombreados) interconectados con los componentes de trabajo

descritos anteriormente como se ilustra mediante líneas de puntos. Dicha red de sensores, elementos de control y líneas de control puede definir una o más secuencias lógicas de control de flujo mediante las cuales se controla el flujo de uno o más fluidos a través de uno o más componentes de la planta de energía. Por ejemplo, como se describió anteriormente en el presente documento, el presente sistema de control puede incluir un elemento de control de energía 10 configurado para recibir una señal de DEMANDA DE ENERGÍA para la energía real requerida para ser entregada por la turbina 525. El elemento de control de energía 10 puede configurarse para ordenar a una o ambas válvulas 505 y 506 en la línea de combustible primaria 503 y la línea de combustible secundaria 504, respectivamente, que se abran y/o cierren según sea necesario para entregar la cantidad adecuada de combustible a la cámara de combustión 511 para satisfacer la demanda de energía. Aunque no se muestra en la FIG. 5, como ya se describió en relación con la FIG. 3, el elemento de control de energía 10 puede recibir además señales de sensores de presión y sensores de flujo en comunicación con la línea de combustible primaria 503 y la línea de combustible secundaria 504.

Como se ve también en la FIG. 5, el flujo a través de la línea de recirculación 530 de regreso al compresor 520 con sello de prensaestopas se puede controlar mediante el elemento 12 de control de presión basándose, al menos en parte, en los datos de presión recibidos del sensor de presión 14 en la línea 524 aguas arriba del compresor de sello de prensaestopas. El elemento de control de presión 12 puede configurarse particularmente para abrir y cerrar la válvula 533 en la línea 530 para permitir o impedir el flujo a través de la misma. El flujo de la corriente que sale del compresor 520 con sello de prensa a través de la línea 524 de ventilación puede controlarse mediante el elemento 16 de control de presión basándose, al menos en parte, en los datos de presión recibidos del sensor de presión 18. El elemento de control de presión 16 puede configurarse particularmente para abrir y cerrar la válvula 531 en la línea 524 para permitir o impedir el flujo a través de la misma. La válvula 532 en la línea 524 se puede abrir y cerrar basándose en las señales de control recibidas desde el elemento de control de presión 20, que a su vez recibe datos del sensor de presión 22 con respecto a la presión en la línea de escape de la turbina 534 aguas abajo del intercambiador de calor del recuperador 529. El elemento de control de presión 20 puede configurarse además para controlar la apertura y el cierre de la válvula 519 en relación con el flujo de entrada de CO₂ al compresor 520 con sello de prensaestopas.

El elemento de control de nivel de líquido 24 puede configurarse para controlar el flujo de salida desde el condensador 540 del agua líquida separada de la corriente de escape de la turbina desde la línea 534. El elemento de control de nivel de líquido 24 puede abrir y cerrar la válvula 542 en la línea 541 basándose al menos en parte en los datos recibidos del sensor de nivel 26.

El flujo de CO₂ reciclado de regreso a la cámara de combustión 511 y a varios componentes adicionales del sistema de producción de energía pueden depender de varios elementos de control diferentes configurados para lograr diferentes propósitos. Por ejemplo, la desviación de una parte de la corriente de CO₂ reciclado comprimido que sale del compresor 548 de regreso a la línea de escape de la turbina 534 inmediatamente aguas arriba del compresor 540 puede controlarse mediante el elemento de control de presión 28 basándose, al menos en parte, en los datos recibidos del sensor de presión 30 en la línea 547 entre el intercambiador de calor 549 y la bomba 550 de corriente de CO₂ reciclado comprimido. La recirculación opcional de la corriente de CO₂ reciclado comprimido en la línea 551 entre el compresor de corriente de CO₂ reciclado comprimido 550 y el intercambiador de calor recuperador 529 pueden controlarse mediante el elemento de control 32 utilizando datos del sensor de flujo 34 para determinar cuándo abrir y cerrar la válvula 575 en la línea de flujo 576 de modo que una porción de la corriente de CO₂ reciclado comprimido en la línea 551 entre la bomba 550 y la válvula 577 se recircula de regreso a la línea 547 entre el compresor 548 y el intercambiador de calor 549. El flujo del compresor de corriente de CO₂ reciclado 550 se puede controlar usando el elemento de control de temperatura 36 utilizando datos recibidos del sensor de temperatura 38 que proporciona la temperatura de la línea de escape de la turbina en la línea 534 entre la turbina 525 y el intercambiador de calor del recuperador 526. El elemento de control de temperatura 36 se puede configurar para abrir y cerrar la válvula 577 en la línea 551 para variar la cantidad de la corriente de CO₂ reciclado pasó a la cámara de combustión 511. El elemento de control de temperatura 36 también puede configurarse para abrir y cerrar la válvula 555 en la línea 556 para provocar la recirculación de al menos una parte de la corriente de CO₂ reciclado en la línea 551 entre el compresor 550 y el intercambiador de calor del recuperador 529 de regreso a la línea 547 entre el intercambiador de calor 549 y el compresor 550.

Como se señaló anteriormente, una parte de la corriente de CO₂ reciclado en la línea 546 puede pasar a través de la válvula 564 para combinarse con el oxígeno en la línea de oxidante 507. La apertura y el cierre de la válvula 564 se pueden controlar mediante el elemento de control de presión 38 basándose al menos en parte en los datos recibidos del sensor de presión 40 en la línea 509 entre el intercambiador de calor 510 y el compresor de oxidante 512. El elemento de control de presión 38 puede controlar además la apertura y el cierre de la válvula 578 para permitir que una porción del oxidante diluido en la línea 509 se ventile a través de la línea 579. Un elemento de control de presión adicional 42 puede controlar la apertura y el cierre de la válvula 566 en la línea 565 de recirculación desde la línea 509 entre el compresor de oxidante 512 y el intercambiador de calor 513 basándose al menos en parte en los datos recibidos desde el sensor de presión 44. El elemento de control de temperatura 46 está configurado para monitorizar la temperatura de la corriente en la línea 509 que sale del intercambiador de calor 513 usando el sensor de temperatura 48. El elemento de control de flujo 50 puede configurarse para abrir y cerrar la válvula 568 en la línea 567 para controlar la recirculación de oxidante diluido comprimido en la línea 509 desde un punto entre la bomba 514 y la válvula 515 basándose al menos en parte en los datos recibidos del sensor de flujo 52 inmediatamente aguas arriba de bomba 514.

El elemento de control de presión 54 puede proporcionar un control significativo sobre la cantidad de oxidante que fluye en la línea de flujo de oxidante primaria 516 y la línea de flujo de oxidante secundaria 517. En particular, el elemento de control de presión 54 puede controlar la apertura y el cierre de la válvula 515 en la línea 509 y la válvula 570 en la línea 569 para determinar qué cantidad del oxidante diluido en la línea 509 fluye hacia la cámara de combustión versus ser recirculado a un punto aguas arriba de la bomba 514. El elemento de control de presión 54 controla además la válvula 580, que en particular puede determinar qué cantidad de oxidante diluido pasa a través de la línea de oxidante primaria 516 o es forzada a la línea de oxidante secundaria 517. Dichos controles pueden basarse al menos en parte en datos recibidos del sensor de presión 56 y del sensor de presión 58. El elemento de control de presión 54 puede configurarse además para controlar la presión aguas arriba del sistema oxidante durante el arranque para garantizar que las válvulas puedan controlar el flujo de oxidante hasta que la bomba 514 esté funcionando y controlando el flujo.

El elemento de control de proporción 60 se puede configurar para controlar la proporción de oxígeno a CO₂ en la línea de oxidante 509. En particular, el elemento de control de proporción 60 puede recibir datos con respecto al CO₂ fluye en la línea 546 desde el sensor de flujo 62 y puede recibir datos con respecto al flujo de oxígeno desde el sensor 64 en la línea 507. Además, la concentración de oxígeno en la línea 509 entre la válvula 115 y el intercambiador de calor del recuperador 529 puede proporcionarse desde el sensor de oxígeno 66. Según los datos recibidos, el elemento de control de proporción 60 puede abrir y cerrar la válvula 508 en la línea 507 para ajustar la cantidad de oxígeno que se agrega al flujo de CO₂ en la línea 509 para proporcionar el oxígeno deseado a la relación de CO₂. Por ejemplo, en algunas realizaciones, un oxígeno a la relación de CO₂ puede ser preferiblemente de aproximadamente 10:90 a aproximadamente 90:10, más preferiblemente de aproximadamente 10:90 a aproximadamente 50:50, o de aproximadamente 15:85 a aproximadamente 30:70.

Además, el elemento de control de equivalencia 68 y el elemento de control de flujo 70 pueden configurarse para controlar la cantidad de oxidante que ingresa a la línea de oxidante secundaria 517 en función de la cantidad de combustible que ingresa a la línea de flujo de combustible secundaria 504. Con este fin, se pueden recibir datos del sensor de flujo 72 en la línea de flujo de combustible secundaria 504, del sensor de flujo 74 en la línea de flujo de combustible primaria 503 y del sensor de flujo 76 en la línea de oxidante secundaria 517. En base a dichos datos, la válvula 571 se puede abrir o cerrar para ajustar la cantidad de oxidante que ingresa a la cámara de combustión 511 a través de la línea de oxidante secundaria 517.

El elemento de control de flujo 78 se puede configurar para controlar un flujo de purga opcional de CO₂ a través de las líneas 581 y 582. El flujo de purga puede ser necesario para la línea de oxidante de alto flujo 516 cuando no hay flujo de oxidante en dicha línea. Esto asegura que no haya reflujo de productos de combustión hacia los intercambiadores de calor del recuperador 526, 527, 528 y 529. Esto también puede proporcionar la capacidad de purgar la línea de flujo de combustible primario 503 cuando sea necesario.

Muchas modificaciones y otras realizaciones del tema actualmente divulgado le vendrán a la mente a un experto en la técnica a la que pertenece este tema que tenga el beneficio de las enseñanzas presentadas en las descripciones anteriores y los dibujos asociados. Por lo tanto, debe apreciarse que la presente divulgación no debe limitarse a las realizaciones específicas descritos en el presente documento, y que modificaciones y otras realizaciones se conciben para incluirse dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. A pesar de que en el presente documento se emplean expresiones específicas, las mismas se usan solo en un sentido genérico y descriptivo y no para fines de limitación.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para control automatizado de una planta de producción de energía, comprendiendo el sistema:
una secuencia lógica de control de flujo que, cuando el sistema está en uso con la planta de producción de energía, se adapta para
- 5 recibir una señal de ENERGÍA REAL que transmite una producción de energía real por parte de la planta de producción de energía (100) en un momento dado;
recibir una señal de DEMANDA DE ENERGÍA que transmite una producción de energía deseada por parte de la planta de producción de energía (100) en el mismo momento dado;
- 10 calcular un diferencial entre la señal de DEMANDA DE ENERGÍA y la señal de ENERGÍA REAL y convertir el diferencial en una señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE que indica un flujo deseado de un combustible a una cámara de combustión (111) en el mismo momento dado;
generar una señal de TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA TURBINA que representa una temperatura de una entrada de una turbina (125), siendo la señal de TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA TURBINA una selección de la más alta de una pluralidad de señales de temperatura calculadas, cada una derivada respectivamente de diferentes
- 15 rutinas de cálculo para calcular la temperatura en la entrada de la turbina (125); y
regular una o ambas de una masa y una presión del combustible que fluye desde un sistema de suministro de combustible (115) a la cámara de combustión (111) basándose en una selección de la más baja de la señal de DEMANDA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE y la señal de TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA TURBINA.
- 20 2. El sistema para control automatizado de una planta de producción de energía según la reivindicación 1, en el que el sistema está adaptado para ajustar una relación de una masa o un volumen de combustible que fluye a través de dos o más líneas de combustible diferentes (116, 117) desde el sistema de suministro de combustible (115) a la cámara de combustión (111); preferiblemente en el que el sistema está adaptado para abrir/cerrar válvulas de control de flujo en cada una de las dos o más líneas de combustible diferentes (116, 117); y más preferiblemente en el que el sistema está adaptado para abrir/cerrar al menos una válvula de control de presión en cada una de las dos o más líneas de combustible diferentes (116, 117).
- 25 3. El sistema para control automatizado de una planta de producción de energía según la reivindicación 2, en el que el sistema está adaptado para ajustar una relación de una masa o un volumen de oxidante que fluye a través de dos o más líneas de oxidante diferentes (121, 122) desde un sistema de suministro de oxidante (120) a la cámara de combustión (111).
- 30 4. El sistema para control automatizado de una planta de producción de energía según la reivindicación 3, en el que la planta de producción de energía incluye al menos un conjunto primario de líneas de combustible y oxidante y un conjunto secundario de líneas de combustible y oxidante, y en el que el sistema está adaptado para ajustar una relación de combustible a oxidante en el conjunto primario de líneas de combustible y oxidante independiente de una relación de combustible a oxidante en el conjunto secundario de líneas de combustible y oxidante.
- 35 5. El sistema para control automatizado de una planta de producción de energía según la reivindicación 3 o 4, en el que la planta de producción de energía incluye una línea que proporciona una corriente de CO₂ reciclado, en el que una parte de la corriente de CO₂ reciclado se añade a una o más de las líneas de oxidante, y en el que el sistema está adaptado para ajustar una concentración de oxígeno en una o más de las líneas de oxidante ajustando una cantidad de CO₂ reciclado que se añade a la línea de oxidante.
- 40 6. El sistema para control automatizado de una planta de producción de energía según la reivindicación 5, en el que se cumple una o ambas de las siguientes condiciones:
la concentración de oxígeno en cada una de las una o más líneas de oxidante se ajusta independientemente de las líneas de oxidante restantes;
el sistema está adaptado para ajustar una relación de equivalencia entre la masa o el volumen de oxidante que fluye a través de la línea de oxidante primaria y la línea de oxidante secundaria.
- 45 7. El sistema para control automatizado de una planta de producción de energía según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, en el que el sistema está adaptado para cerrar una válvula de control de flujo en una tubería de combustible primaria desde el sistema de suministro de combustible (115) a la cámara de combustión (111), de modo que sustancialmente ningún combustible fluya a través de la línea de combustible primaria y está adaptado para
- 50 abrir una válvula de control de flujo en una línea de combustible secundaria desde el sistema de suministro de combustible (115) a la cámara de combustión (111), de modo que sustancialmente todo el combustible que fluye a la cámara de combustión (111) fluye a través de la línea de combustible secundaria.
8. El sistema para control automatizado de una planta de producción de energía según la reivindicación 7, en el que

se cumple una o ambas de las siguientes condiciones:

el sistema está adaptado para ajustar una relación de equivalencia entre la masa o volumen de combustible que fluye a través de la línea de combustible primaria y la línea de combustible secundaria

5 el sistema está adaptado para proporcionar la configuración de la válvula de control de flujo en la línea de combustible primaria y la válvula de control de flujo en la línea de combustible secundaria durante el arranque de la planta de producción de energía y está configurado para sincronizar la apertura de la válvula en la línea de combustible primaria con una condición de trabajo de una o ambas de la turbina (125) y un compresor (151, 155) que comprime una corriente de CO₂ reciclado que fluye hacia la cámara de combustión (111).

10 9. El sistema para control automatizado de una planta de producción de energía según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 8, en el que el sistema de control está adaptado para mantener o reducir la masa o el volumen de combustible que fluye a través de al menos una de las dos o más líneas de combustible diferentes. (116, 117) desde el sistema de suministro de combustible (115) a la cámara de combustión (111) en respuesta a una señal de entrada que indica que la temperatura de funcionamiento de un intercambiador de calor (135) se acerca o excede una temperatura operativa máxima predefinida o tasa de aumento de calor.

15 10. Una planta de producción de energía con control automatizado, comprendiendo la planta de producción de energía: una cámara de combustión (111);

una turbina (125);

un generador (130);

un sistema de suministro de combustible (115);

20 un sistema de suministro de oxidante (120);

un sistema de control (170) que tiene una pluralidad de trayectorias de control para el control automatizado de al menos un acto en operación de la planta de producción de energía, comprendiendo dicho sistema de control (170) todas las características técnicas del sistema de la reivindicación 1.

25 11. La planta de producción de energía de la reivindicación 10, en la que el sistema de suministro de combustible (115) comprende al menos dos líneas de combustible controladas por separado (116, 117) configuradas para el paso de combustible a la cámara de combustión (111).

12. La planta de producción de energía de la reivindicación 11, en la que el sistema de suministro de combustible (115) comprende al menos una válvula de control de flujo y al menos una válvula de control de presión en cada una de las al menos dos líneas de combustible controladas por separado (116, 117).

30 13. La planta de producción de energía de la reivindicación 11 o 12, en la que el sistema de suministro de oxidante (120) comprende al menos dos líneas de oxidante (121, 122) controladas por separado configuradas para el paso de oxidante a la cámara de combustión (111); preferiblemente en el que el sistema de suministro de oxidante (120) comprende al menos una válvula de control de flujo en cada una de las al menos dos líneas de oxidante controladas por separado (121, 122); más preferentemente en el que el sistema de suministro de oxidante (120) comprende un

35 elemento de control de relación de equivalencia configurado para ajustar una relación de equivalencia entre la masa o el volumen de oxidante que fluye a través de al menos dos líneas de oxidante controladas por separado (121, 122); aún más preferiblemente en la que una de las al menos dos líneas de oxidante controladas por separado (121, 122) es una línea de flujo de oxidante secundaria que comprende un sensor de flujo, en la que una de las al menos dos líneas de combustible controladas por separado (116, 117) es una línea secundaria línea de flujo de combustible que comprende un sensor de flujo, y en la que el sistema de control incluye un elemento de control de proporción configurado para abrir o cerrar la válvula de control de flujo en la línea de flujo de oxidante secundaria en base a un flujo másico o volumétrico de combustible a través de la línea de flujo de combustible secundaria.

40

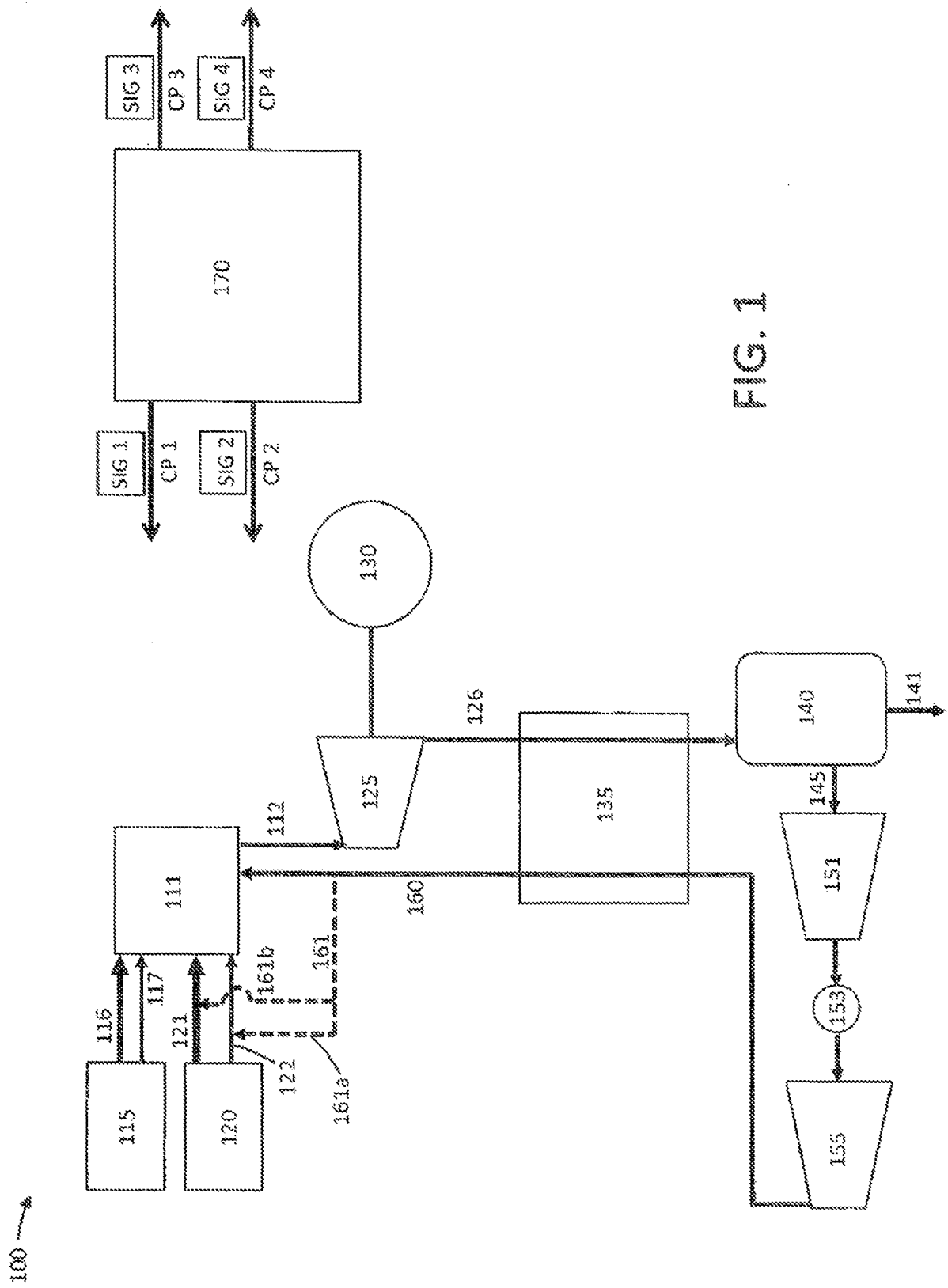
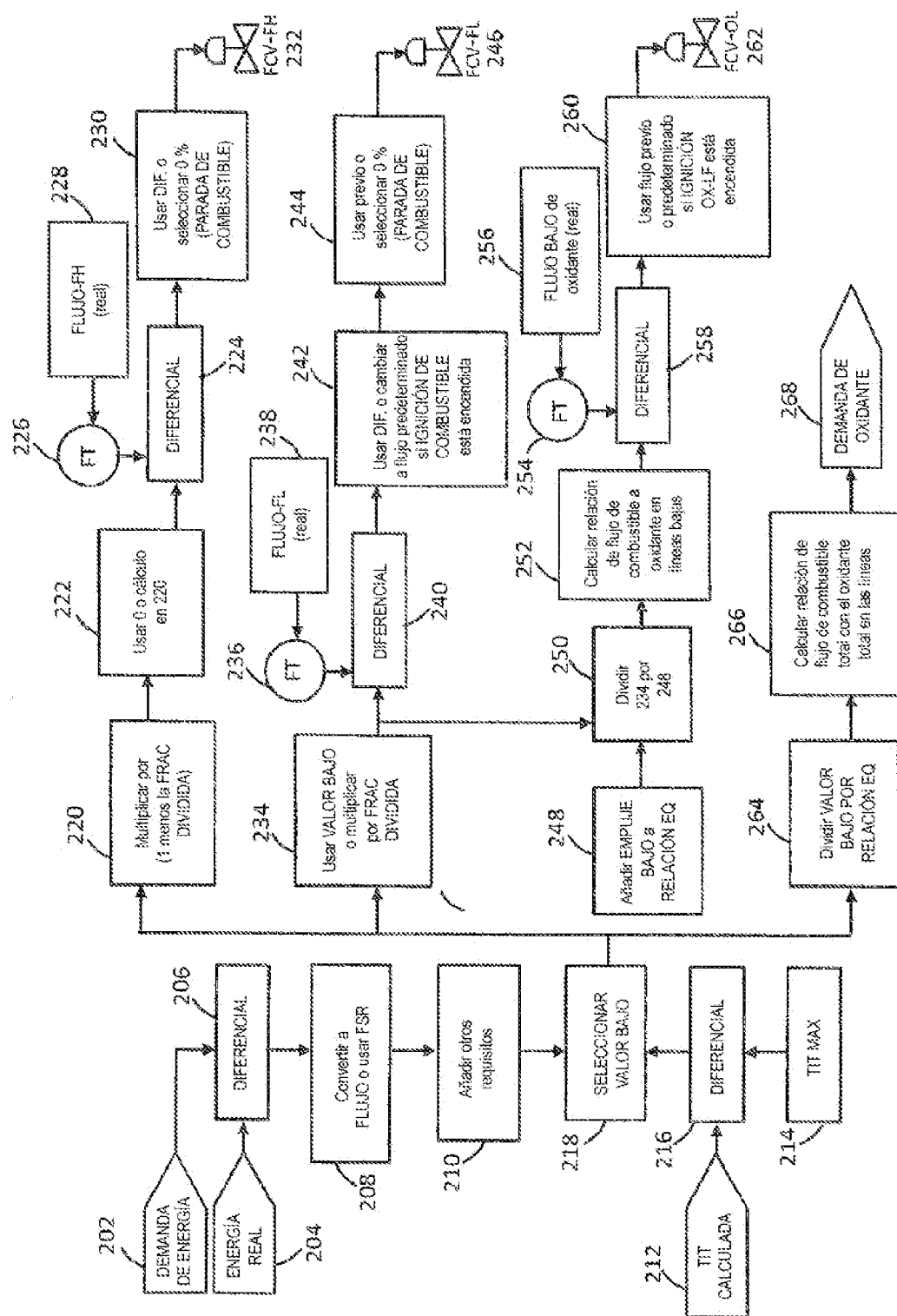


FIG. 1



256

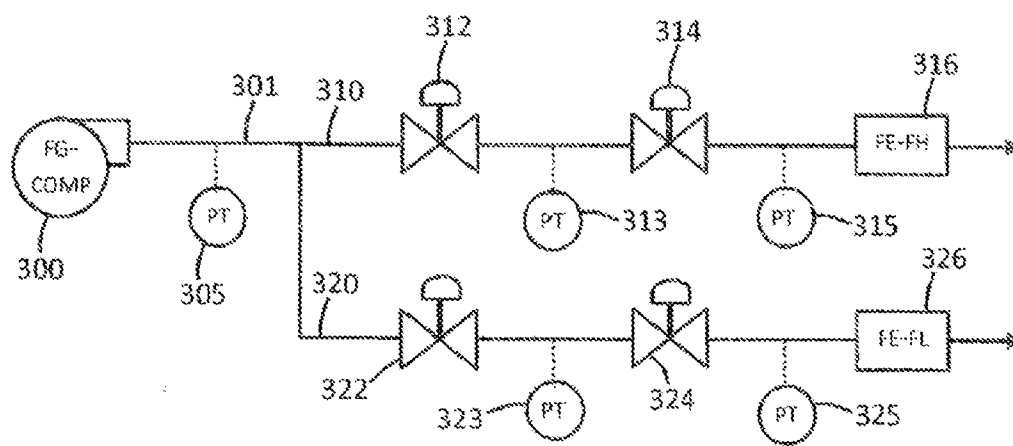


FIG. 3

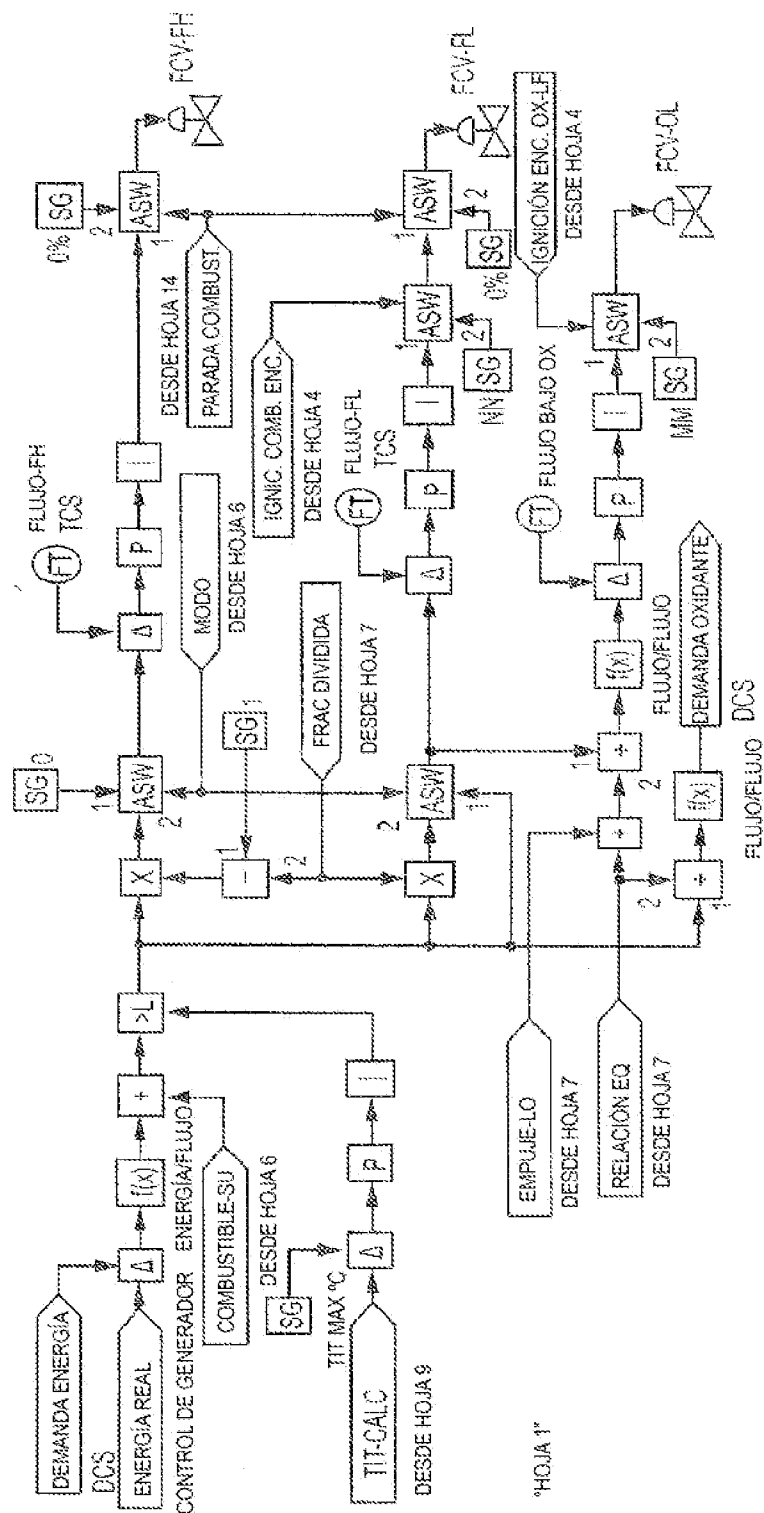


FIG. 4a

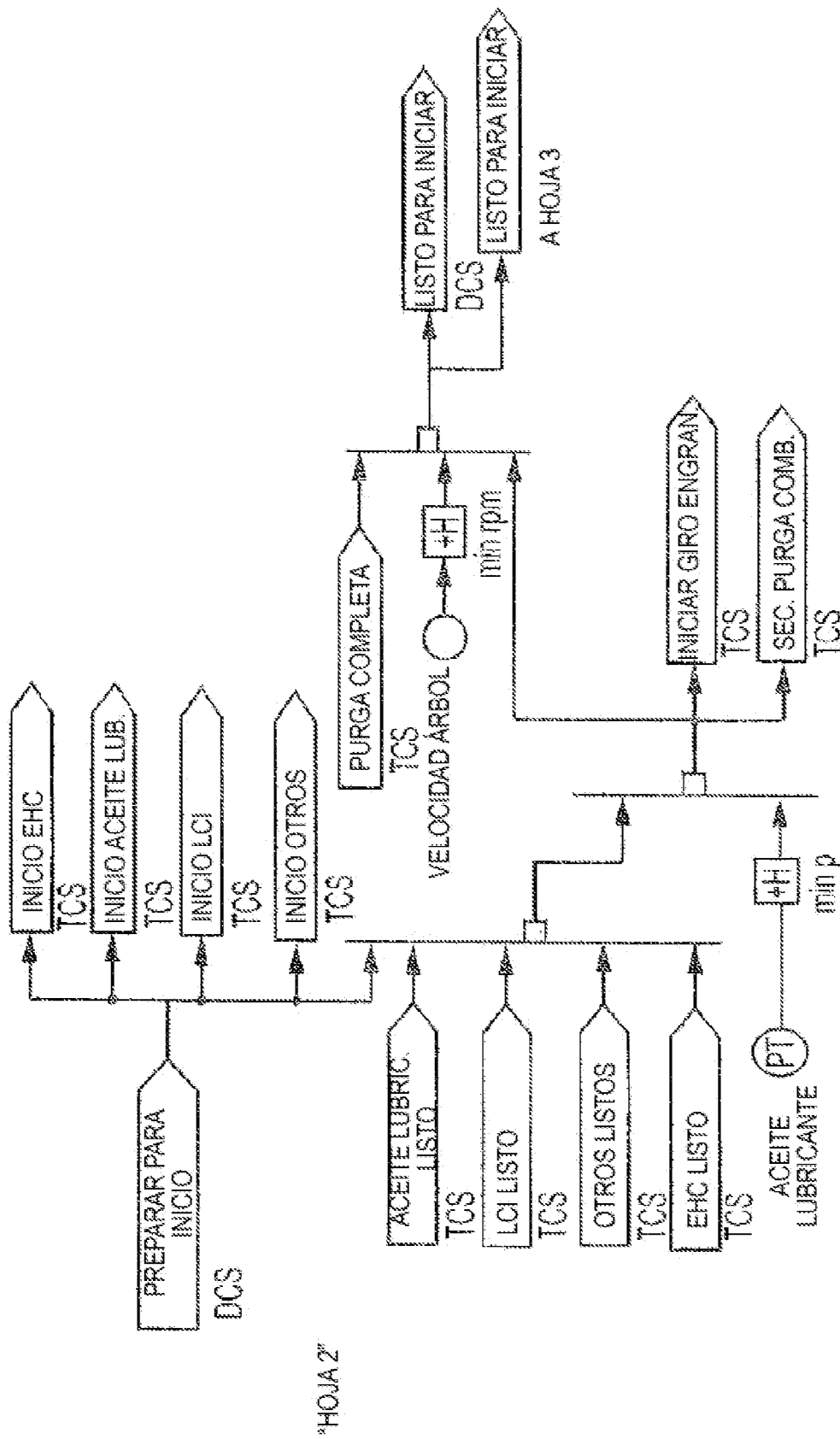


FIG. 4b

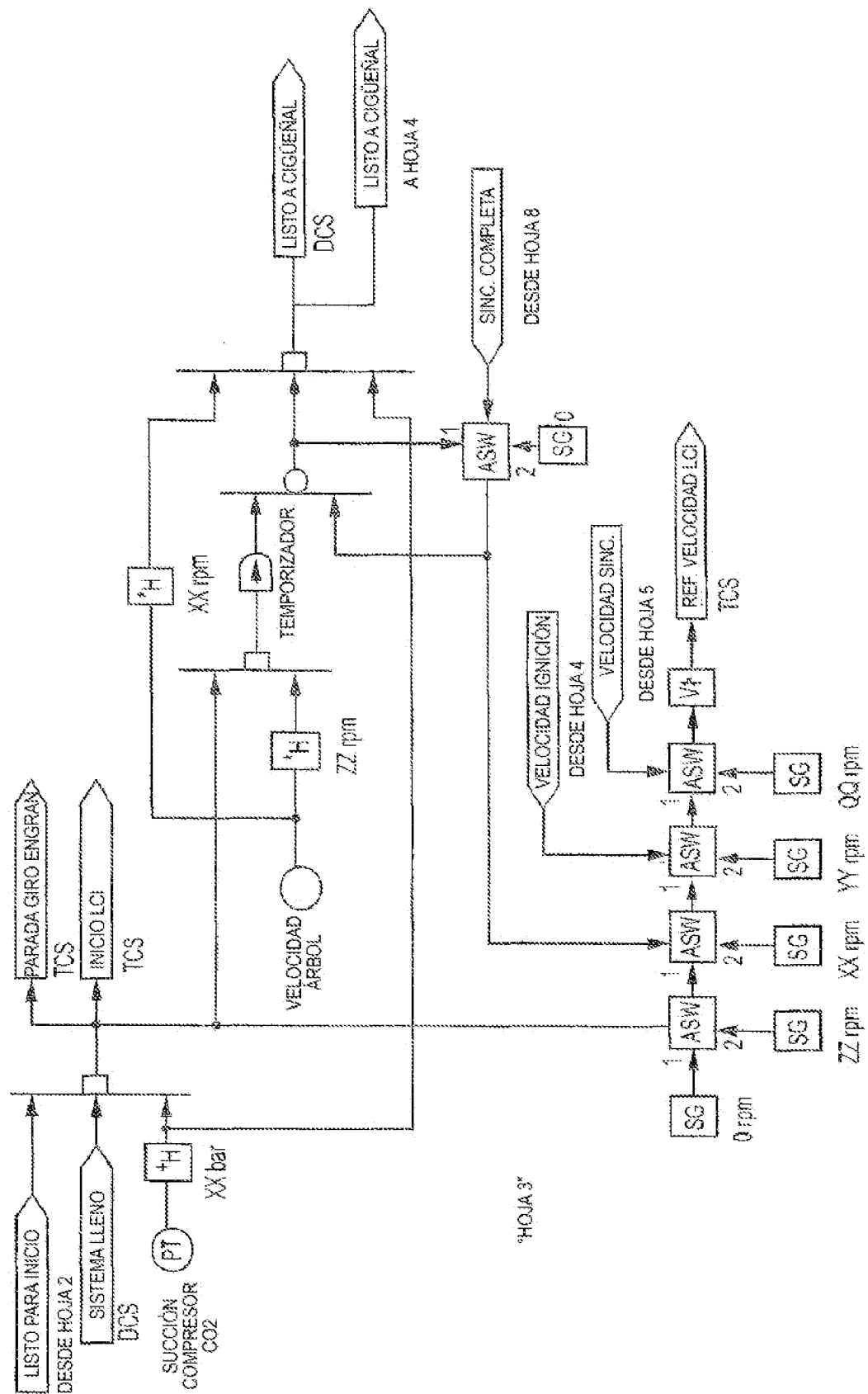


FIG. 4c

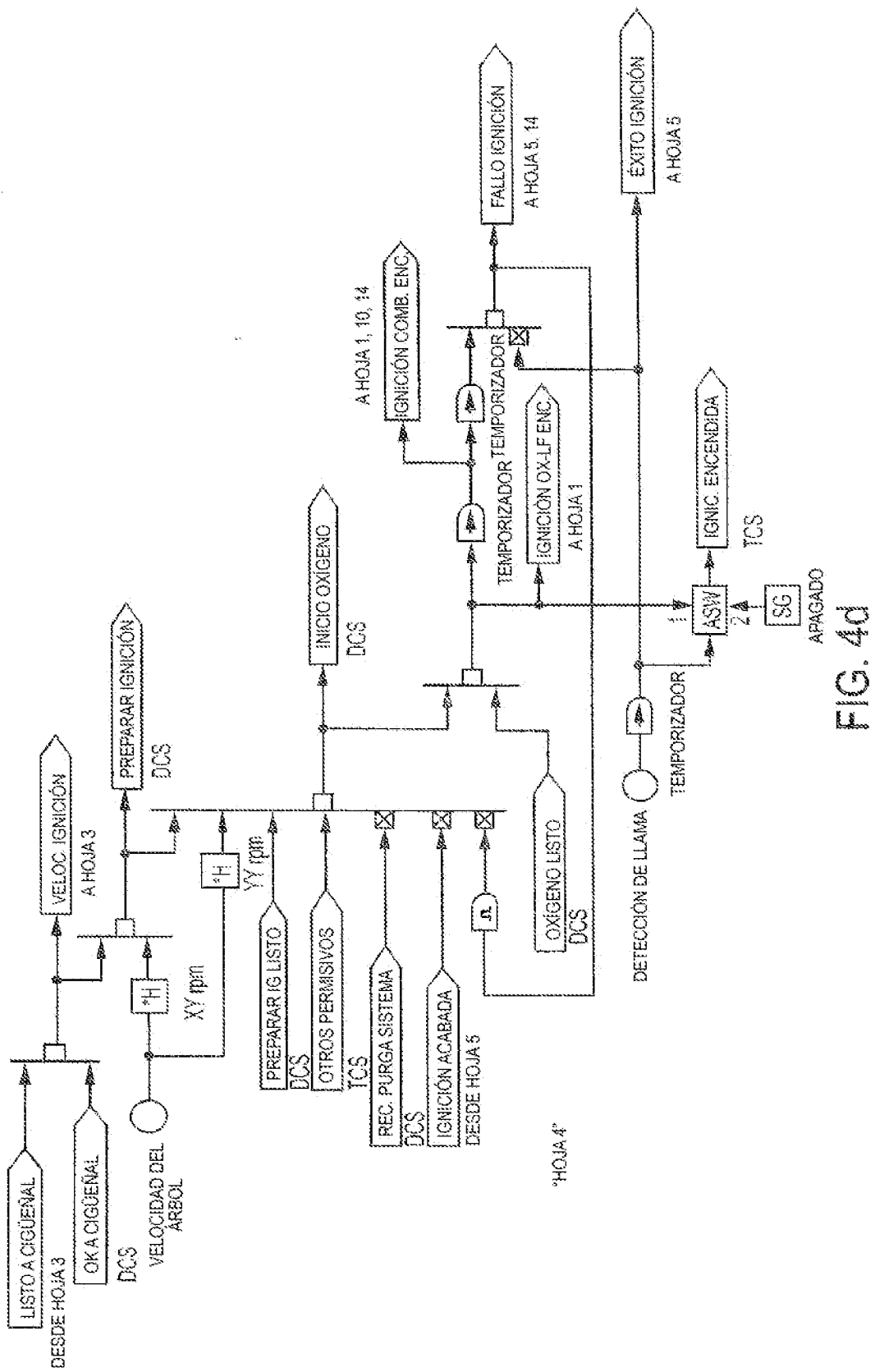
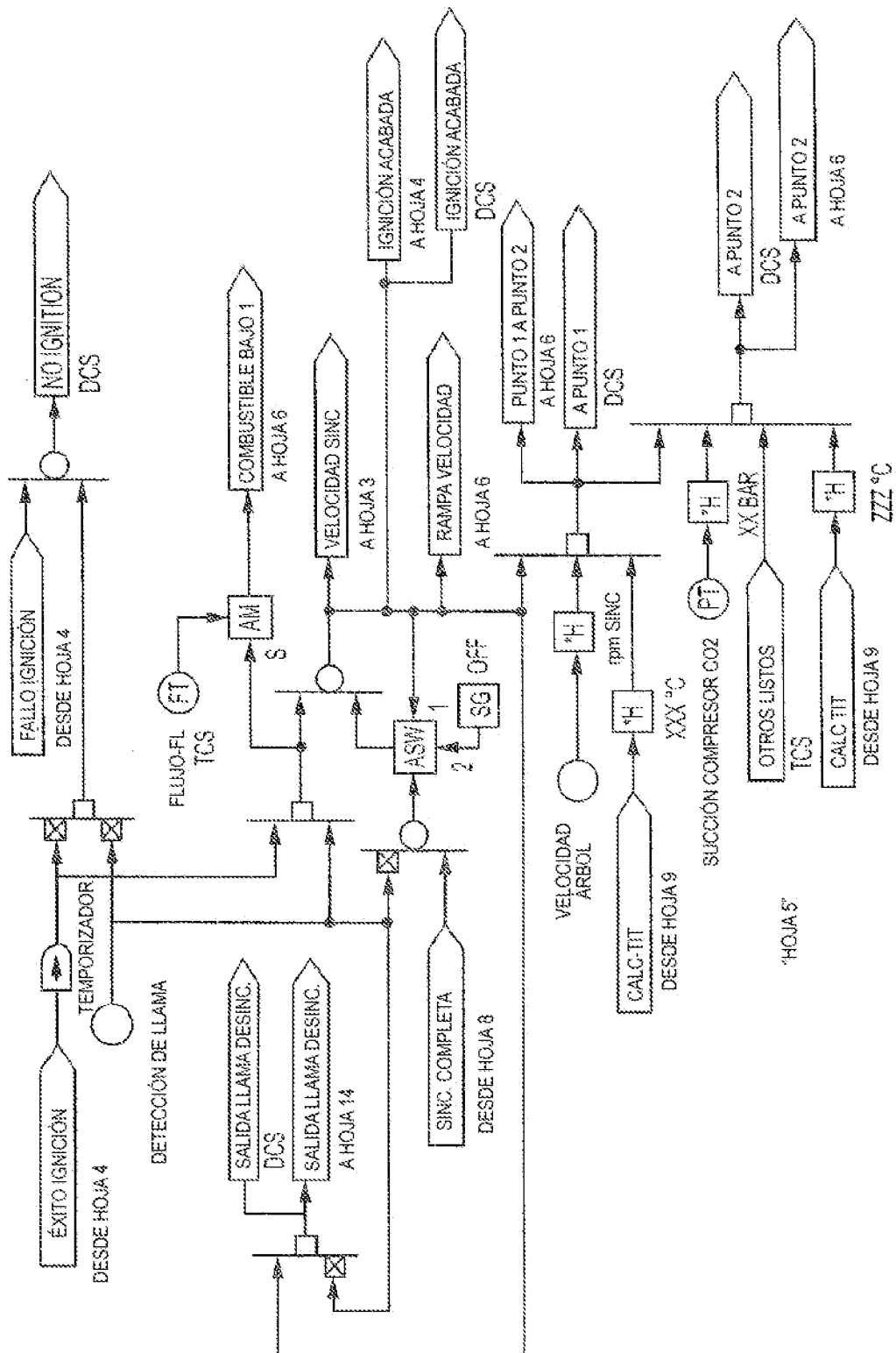
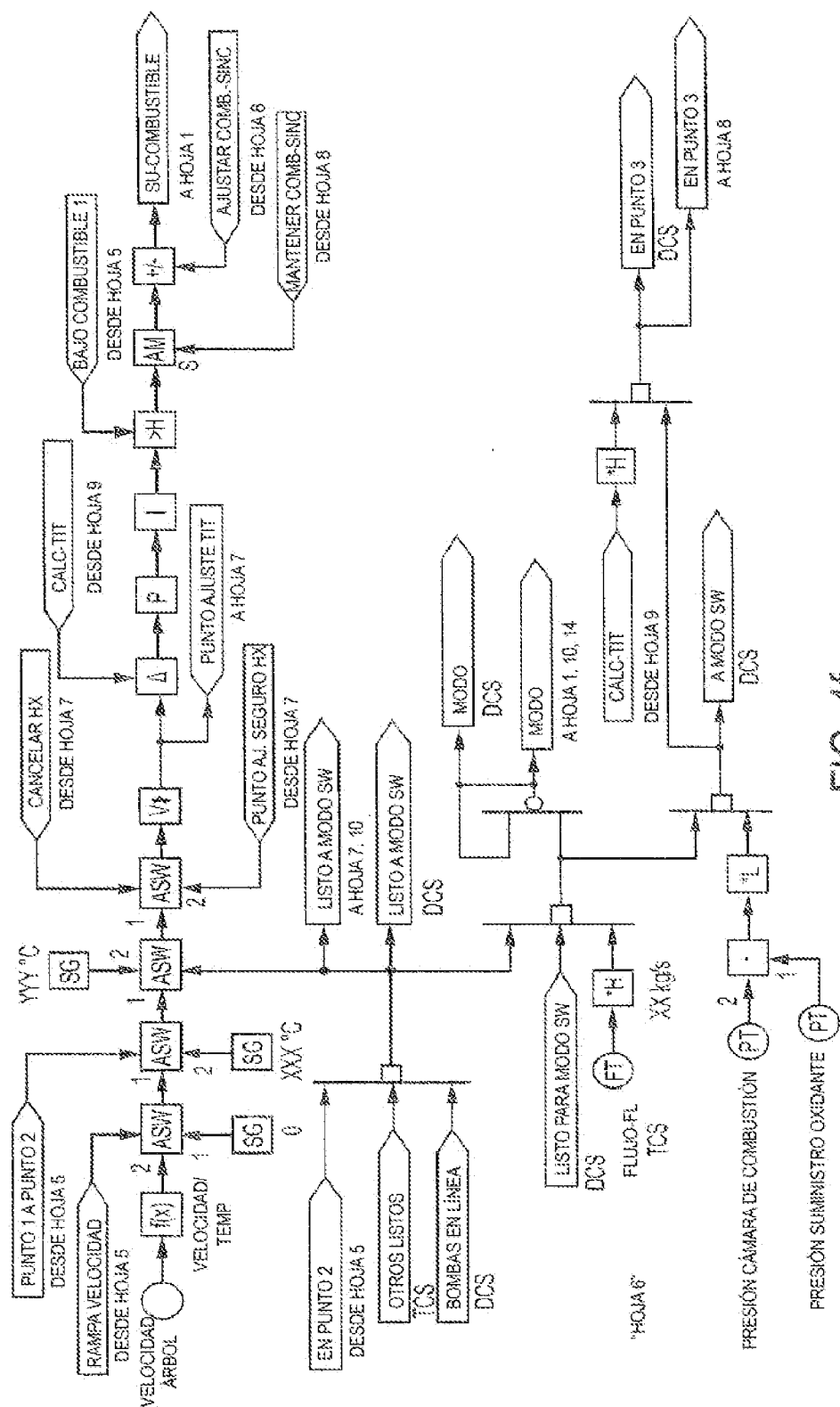


FIG. 4d





ॐ नमो भगवते वासुदेवाय

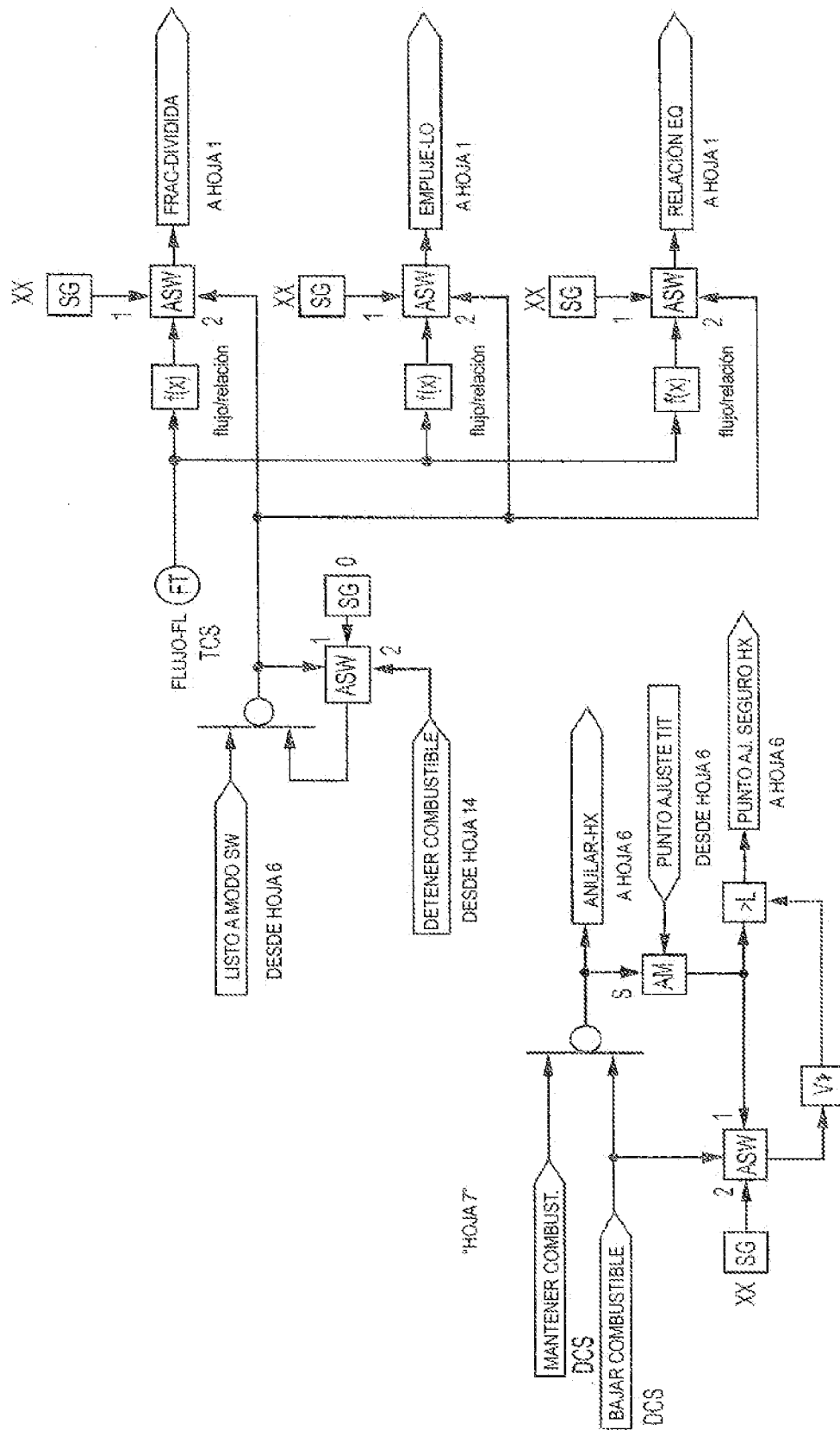


FIG. 4g

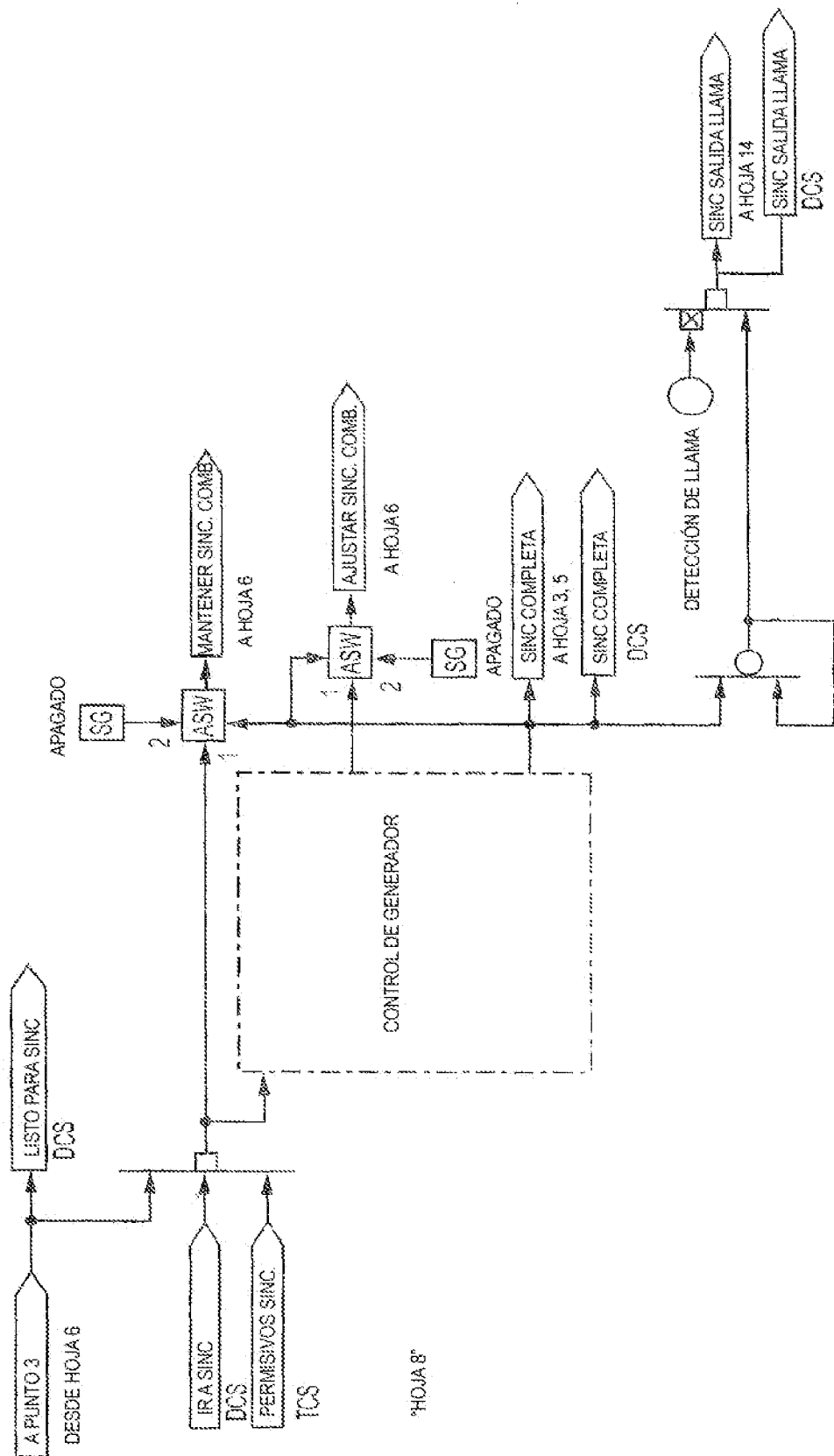
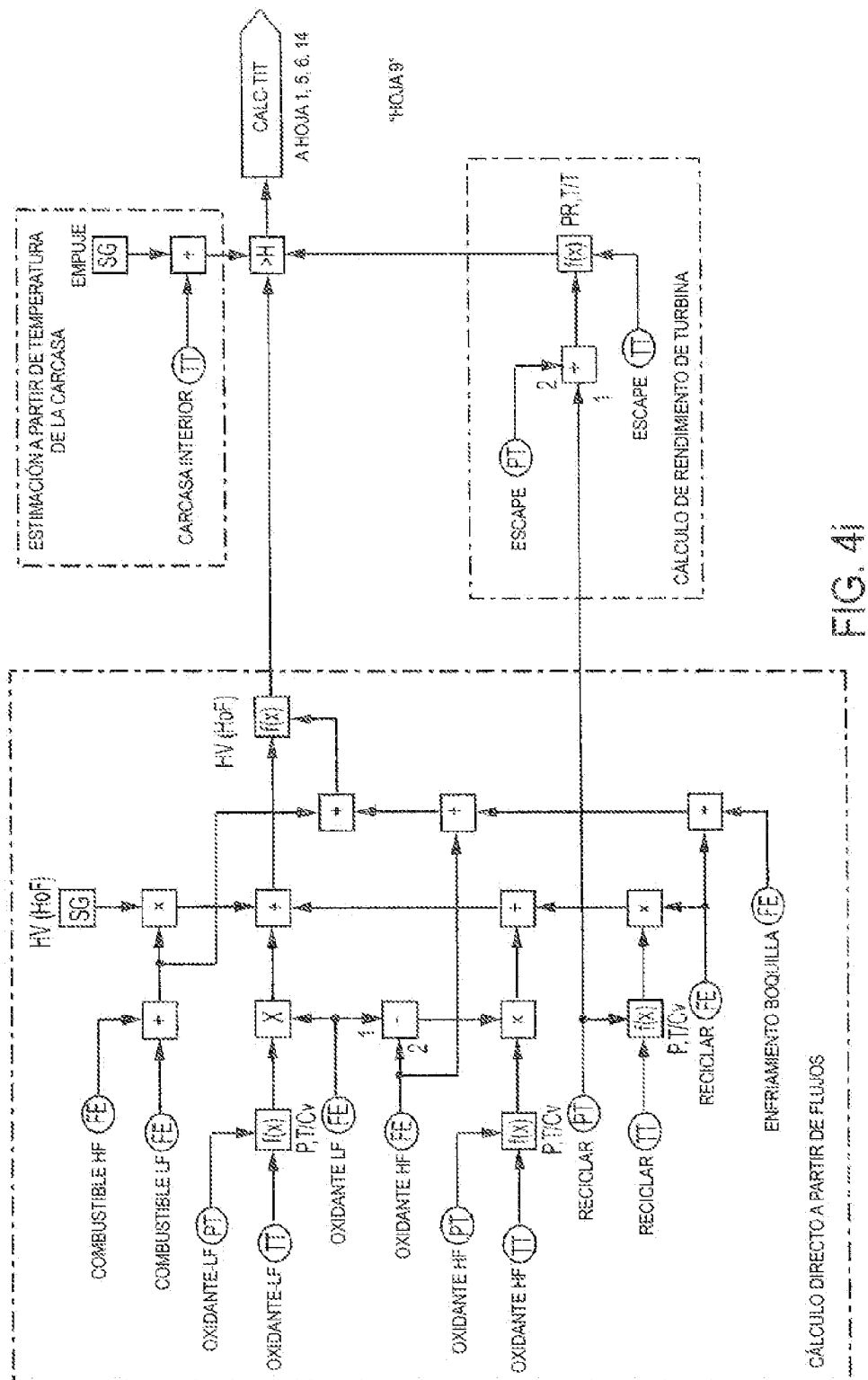


FIG. 4h



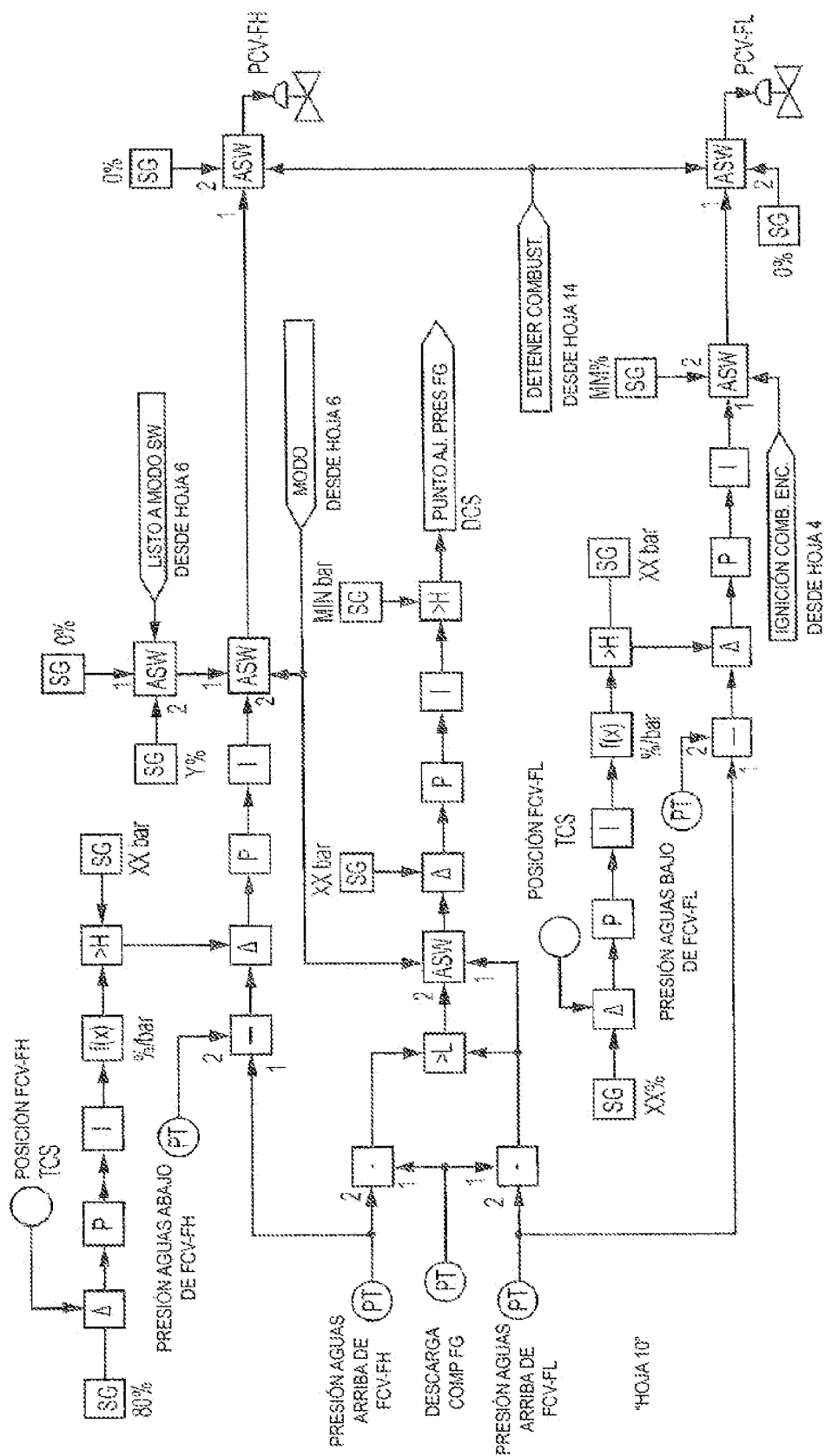
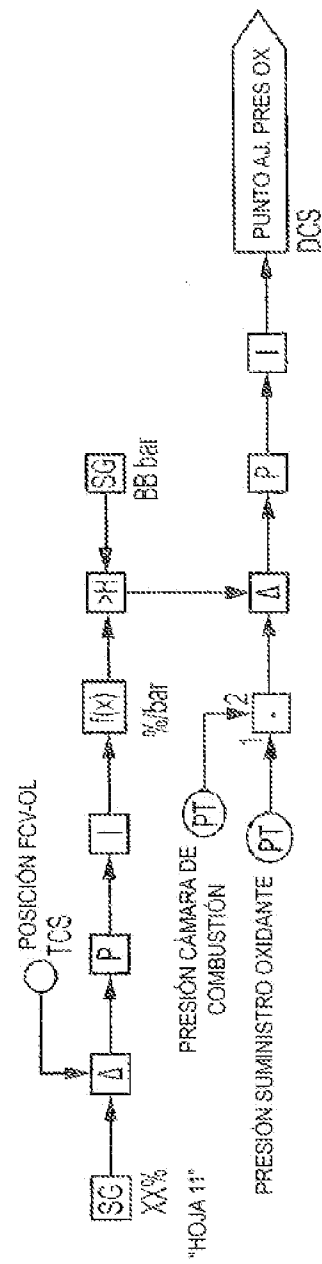


FIG. 4j



40

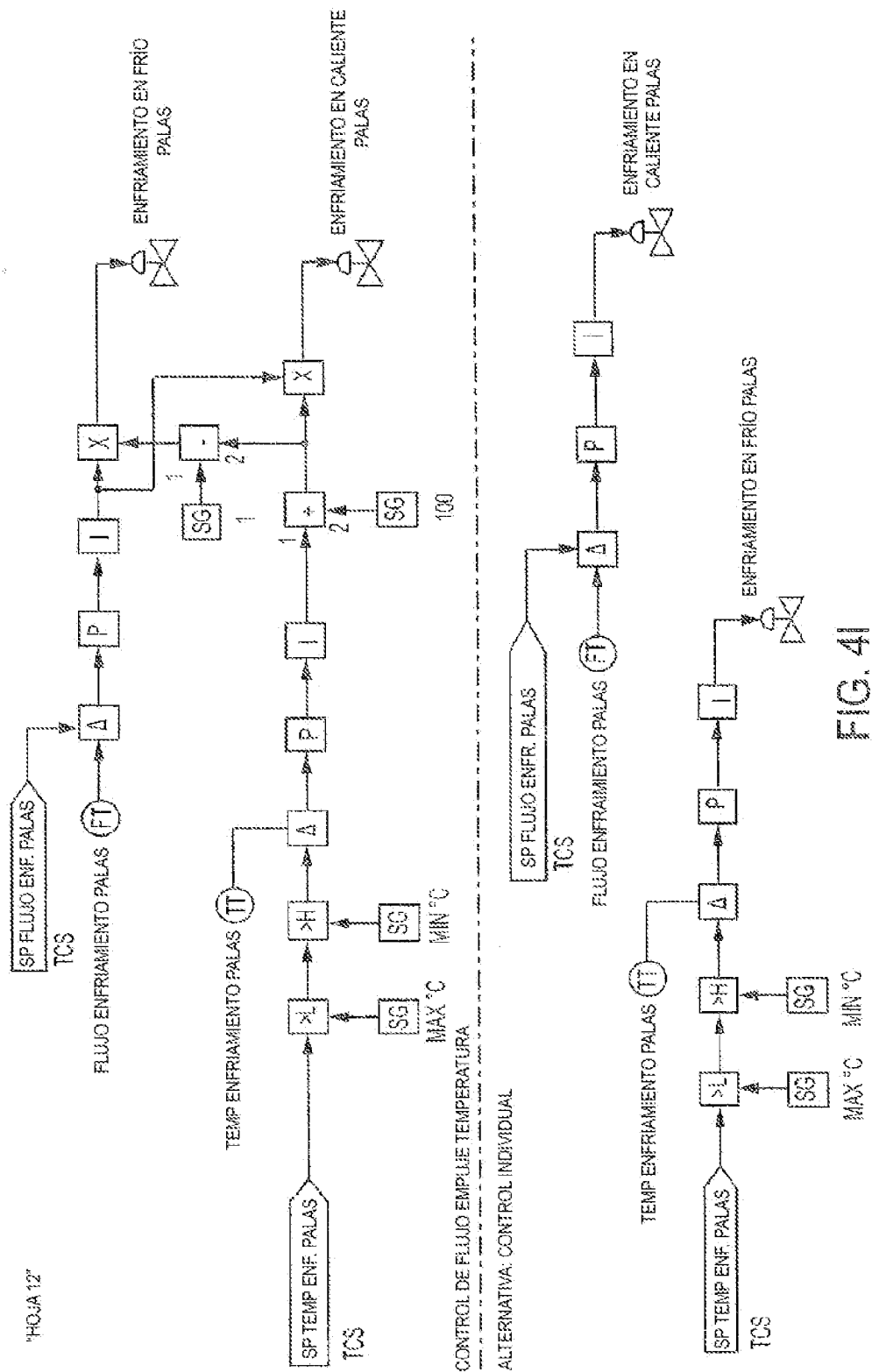


FIG. 4I

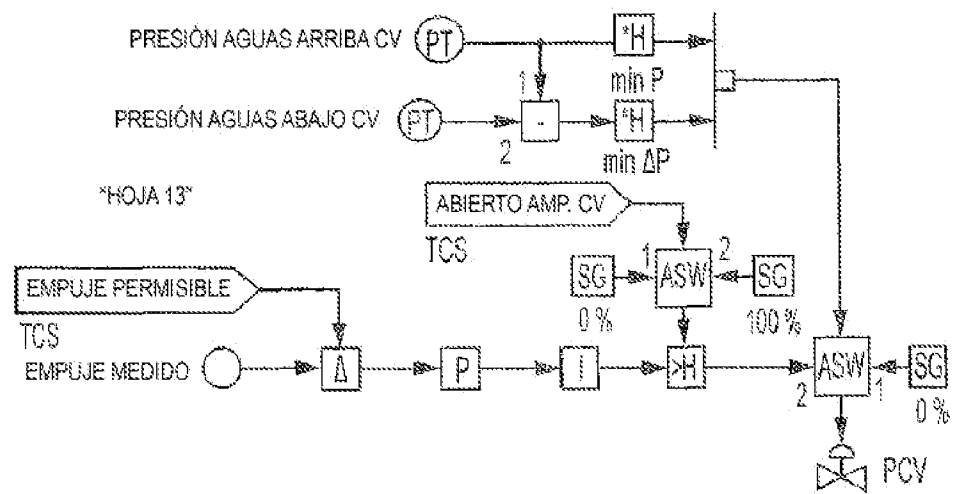
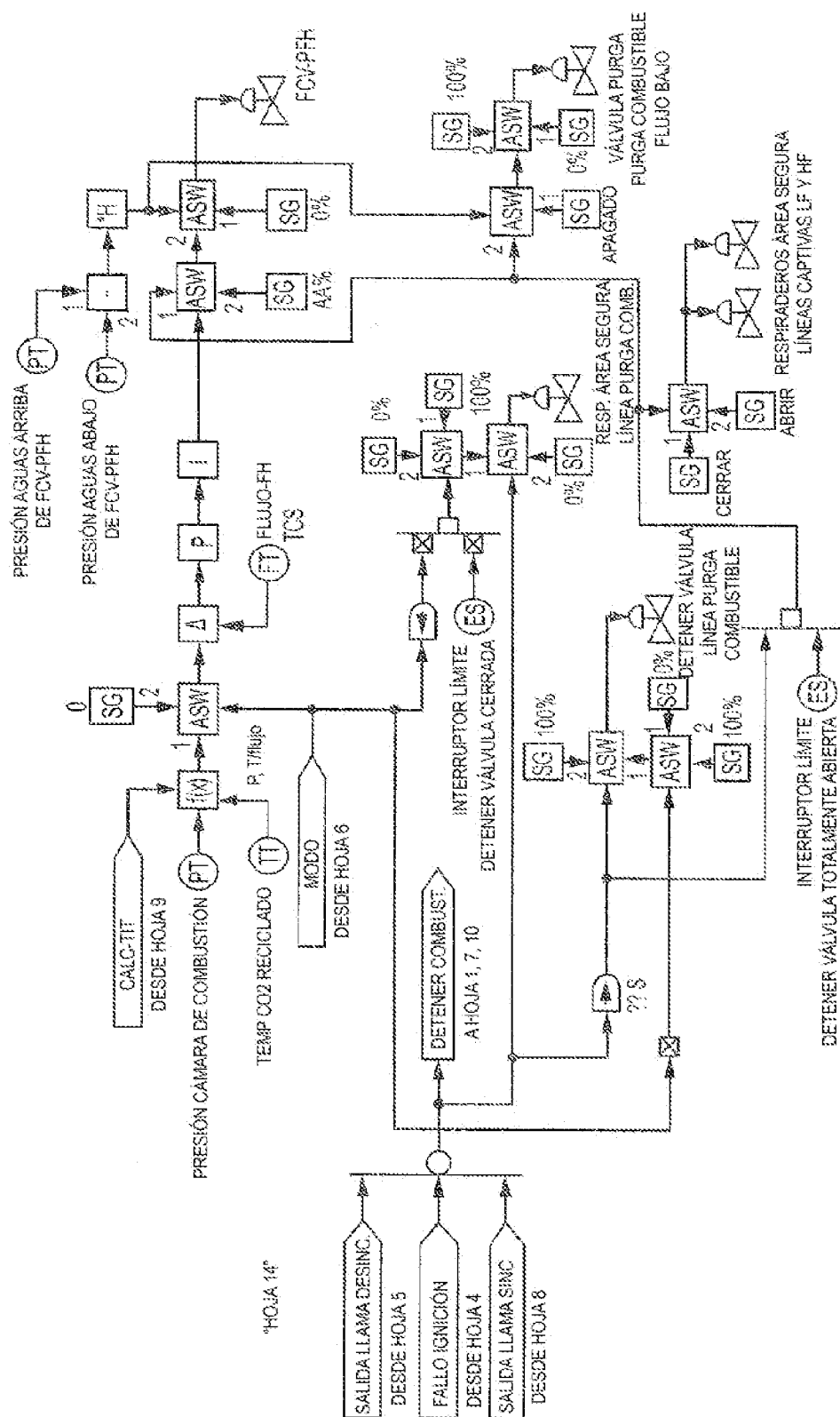


FIG. 4m





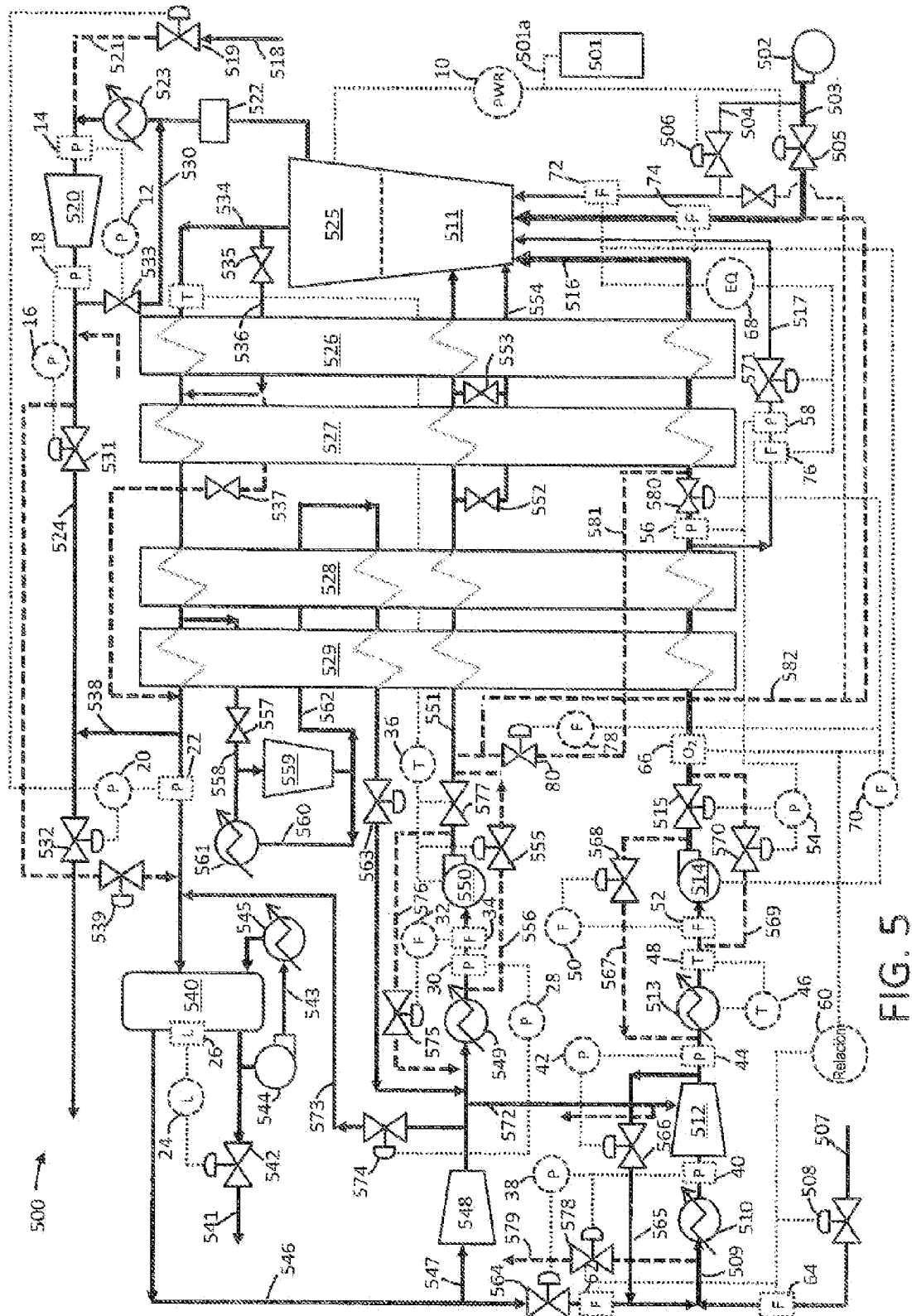


FIG. 5