

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 803 657**

51 Int. Cl.:

F02C 9/28

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.02.2016 PCT/US2016/015959**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2016 WO16123613**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.02.2016 E 16744269 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.04.2020 EP 3250800**

54 Título: **Reducción ampliada automática de un motor de turbina de gas combinada con una puesta a punto gradual para mantener emisiones y dinámicas**

30 Prioridad:

30.01.2015 US 201514610760

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

28.01.2021

73 Titular/es:

**ANSALDO ENERGIA IP UK LIMITED (100.0%)
5th Floor, North Side, 7/10 Chandos Street,
Cavendish Square
London W1G 9DQ, GB**

72 Inventor/es:

**SONI, SUMIT;
DEMOUGEOT, NICOLAS ROGER y
STUTTAFORD, PETER JOHN**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 803 657 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

Reducción ampliada automática de un motor de turbina de gas combinada con una puesta a punto gradual para mantener emisiones y dinámicas

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere, en general, a la puesta a punto automática de un motor de turbina de gas. Más específicamente, se identifican un proceso y un sistema para proporcionar un sistema de control para poner a punto automáticamente el motor de turbina de gas ajustando gradualmente una o más divisiones de flujo de combustible dentro de una cámara de combustión, ajustando gradualmente la temperatura del combustible gaseoso, y/o mediante la reducción gradual de una carga suministrada al motor de turbina de gas combinada con una puesta a punto gradual para mantener las emisiones y dinámicas del motor de turbina de gas.

Antecedentes de la invención

Los motores de turbina de gas operan para producir trabajo o empuje mecánico. Específicamente, los motores de turbina de gas terrestres tienen habitualmente un generador acoplado a los mismos con el fin de generar electricidad. El árbol del motor de turbina de gas está acoplado al generador. La energía mecánica del árbol se usa para accionar un generador para que suministre electricidad al menos a una red eléctrica. El generador está en comunicación con uno o más elementos de una red eléctrica a través de un disyuntor principal. Cuando el disyuntor principal está cerrado, la corriente eléctrica puede fluir desde el generador a la red eléctrica cuando hay una demanda de electricidad. El consumo de corriente eléctrica del generador hace que se aplique una carga a la turbina de gas. Esta carga es esencialmente una resistencia aplicada al generador que la turbina de gas debe superar para mantener una salida eléctrica del generador.

Cada vez más, se usa un sistema de control para regular la operación del motor de turbina de gas. Durante la operación, el sistema de control recibe una pluralidad de indicaciones que comunican las condiciones operativas actuales del motor de turbina de gas, incluidas las presiones, temperaturas, caudales de combustible y frecuencias de motor. Como respuesta, el sistema de control hace ajustes en las entradas del motor de turbina de gas, cambiando de este modo el rendimiento del motor de turbina de gas basándose en la pluralidad de indicaciones a la luz de las tablas de consulta codificadas en la memoria del sistema de control. Con el paso del tiempo, este rendimiento puede caer fuera de un intervalo operativo preferido debido a la degradación mecánica del motor de turbina de gas o a cambios en las condiciones operativas, tales como la temperatura ambiente o los componentes del combustible. Por ejemplo, el motor de turbina de gas puede comenzar a operar más allá de los límites de emisiones regulados. Como tal, se requieren múltiples puestas a punto manuales para actualizar el sistema de control. La puesta a punto manual requiere mucha mano de obra y puede crear ineficiencias relacionadas con el negocio, tales como un tiempo de inactividad prolongado del motor de turbina de gas y un error del operario durante la puesta a punto. Además, debido a que hay ventanas de tiempo específicas donde la puesta a punto manual puede no estar disponible (por ejemplo, eventos de alta dinámica), pero donde realizar una operación de puesta a punto sería beneficioso para proteger contra posibles daños al hardware, la puesta a punto automática durante estas ventanas captura los beneficios que habitualmente se pierden cuando se usa la puesta a punto manual. Se desvelan ejemplos de sistemas de control usados para regular la operación del motor de turbina de gas en los documentos US 2013/158731, US 2014/182297, US 2014/200721, EP 2549081, US 2012/023953.

Sumario de la invención

40 La materia objeto de las diversas realizaciones de la presente invención se describe con especificidad en la presente divulgación para cumplir los requisitos legales. No obstante, la descripción no pretende limitar el alcance de las reivindicaciones. Más bien, la materia objeto reivindicada puede incorporarse de otras maneras diferentes para incluir diferentes características, componentes, elementos, combinaciones y etapas, similares a los descritos en el presente documento, y en relación con otras tecnologías presentes y futuras. No debe interpretarse que los términos implican ningún orden específico entre diversas etapas desveladas en el presente documento, a menos que el orden de etapas establecido se requiera explícitamente. Muchas disposiciones diferentes de los diversos componentes representados, así como el uso de componentes no mostrados, son posibles sin alejarse del alcance de las siguientes reivindicaciones. Asimismo, este sumario no pretende identificar características clave o características esenciales de la materia objeto reivindicada, ni pretende usarse como una ayuda a la hora de determinar el alcance de la materia objeto reivindicada. El alcance de la invención está definido por las reivindicaciones.

En la reivindicación 1 se define un método computarizado para la reducción ampliada automática de una cámara de combustión de un motor de turbina de gas. En la reivindicación 7 se define un sistema para la reducción ampliada automática. En la reivindicación 13 se define un medio legible por ordenador.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona una nueva forma de monitorizar las condiciones operativas de un motor de turbina de gas y responder a condiciones que superan los límites superiores predeterminados. Adicionalmente, se proporciona una forma novedosa de realizar la reducción ampliada automática (AET) de un motor de turbina de gas (GT) mediante la reducción gradual de la carga combinada con una puesta a punto gradual para mantener la emisión y las dinámicas del motor GT. Inicialmente, pueden monitorizarse diversas condiciones y criterios operativos del motor. A modo de ejemplo, estas condiciones operativas pueden incluir, pero sin limitación, emisiones, modos de dinámicas de cámara de combustión, tales como apagado por mezcla pobre (Lean Blow Out (LBO)), tono frío (CT), tono caliente (HT) y vibración de alta frecuencia. Cuando una condición operativa monitorizada supera uno o más límites superiores predeterminados, puede cambiarse un parámetro del motor para ajustar esta condición para llevarla dentro de los límites, poniendo a punto de este modo el motor GT.

Más específicamente, unas fluctuaciones de presión, también denominadas dinámicas de combustión, pueden detectarse (por ejemplo, utilizando transductores de presión) en cada cámara de combustión del motor GT. A continuación, puede aplicarse una transformada de Fourier a las señales de presión para convertir las señales de presión en un formato de amplitud frente a frecuencia. La amplitud máxima en una banda de frecuencia predeterminada, dentro de un periodo de tiempo, puede compararse con un límite de presión superior predeterminado o un límite de nivel de alarma. Inherente a la comparación, cuando se determina que la amplitud máxima supera el límite de presión superior, se toma una acción correctiva adecuada. En algunos casos, la acción adecuada se realiza manualmente. En otro caso, la acción adecuada se implementa por el sistema de control. Por ejemplo, el sistema de control puede iniciar un proceso de modificación de una o más divisiones de flujo de combustible dentro de un circuito de combustible de la cámara de combustión, o iniciar reducciones graduales de carga combinadas con una puesta a punto gradual. En una realización a modo de ejemplo, una división de flujo de combustible se modifica a la vez por un incremento predefinido. Como se ha descrito en el presente documento, la frase "incremento predefinido" no debe interpretarse como limitante, sino que puede abarcar un amplio intervalo de ajustes a las divisiones de flujo de combustible. En un caso concreto, el incremento predefinido es una cantidad uniforme de ajuste que se aplica consistentemente a una o más de las divisiones de flujo de combustible. En otro caso, la cantidad predefinida es una cantidad variada de ajuste que se modifica a través de divisiones de flujo de combustible o a través de ajustes individuales a una división de flujo de combustible específica. Al modificar las divisiones de flujo de combustible de esta manera, la mezcla de combustible y aire dentro de la cámara de combustión cambia, influyendo, de este modo, en la firma de combustión. Al influir en la firma de combustión, se modifican las fluctuaciones de presión.

Esta amplitud de dinámicas de combustión modificada, una vez estabilizada, se compara nuevamente con el límite superior predeterminado para verificar si la división de flujo de combustible ajustada ha movido la amplitud dentro de un intervalo aceptable. Si la amplitud permanece por encima del límite superior predeterminado, la división de flujo de combustible se ajusta nuevamente por el incremento predefinido y el proceso se repite de manera recurrente según sea necesario. Ventajosamente, se realizan cambios en la división de flujo de combustible de manera consistente y uniforme en el mismo incremento predeterminado, ahorrando de este modo tiempo de procesamiento para calcular un valor personalizado de un incremento cada vez que se supera el límite superior predeterminado.

Por consiguiente, en una realización a modo de ejemplo del proceso de puesta a punto automática, se proporciona un sistema de control para monitorizar y controlar el motor GT. Este sistema de control gestiona, en general, la mayoría de los procesos relacionados con la puesta a punto automática de la cámara de combustión, y puede denominarse controlador de puesta a punto automática. Inicialmente, el proceso incluye monitorizar las dinámicas de combustión y las emisiones de la cámara de combustión para una pluralidad de condiciones. Tras determinar que una o más de las condiciones superan el límite superior predeterminado, una división de flujo de combustible en un circuito de combustible se ajusta en la cantidad predeterminada. El sistema de control o controlador de puesta a punto automática, continúa monitorizando las dinámicas de combustión y ajustando dinámicamente la división de flujo de combustible en la cantidad predeterminada hasta que las dinámicas de combustión caen por debajo del límite superior predeterminado.

Además, en una realización alternativa del proceso de puesta a punto automática, se monitoriza el motor GT y, basándose en los datos recuperados de la monitorización, se ajusta automáticamente. Generalmente, el ajuste automático implica aumentar hacia arriba o hacia abajo la división de flujo de combustible con el fin de mantener las dinámicas de combustión y las emisiones dentro de un intervalo operativo preferido, o por encima/por debajo de un límite. En particular, el proceso alternativo inicialmente incluye detectar señales de presión en la cámara de combustión durante la etapa de monitorización. Posteriormente a, o al mismo tiempo que, la etapa de monitorización, se aplica un algoritmo a las señales de presión detectadas. En un caso concreto, aplicar el algoritmo implica realizar una transformada de Fourier sobre las señales de presión para convertir las señales de presión en datos basados en frecuencia o en un espectro. La amplitud de los datos basados en frecuencia se compara con los límites superiores predeterminados (amplitud) para diferentes condiciones conocidas. Si se determina que la amplitud de los datos basados en frecuencia supera su límite superior predeterminado respectivo, se realiza un ajuste gradual en la división de flujo de combustible. En un caso concreto, el ajuste gradual es un cambio en la división de flujo de combustible realizado en una cantidad fija y predeterminada. Este ajuste gradual puede aumentar o disminuir la división de flujo de combustible dependiendo de la banda de frecuencia que se esté inspeccionando y/o el tipo de circuito de combustible que se esté ajustando. Este proceso alternativo se repite de manera recurrente hasta que los datos basados en

frecuencia indican que el motor GT está operando dentro de un intervalo sugerido.

En un caso concreto, si el proceso alternativo se ha repetido de manera recurrente varias veces de tal manera que la división de flujo de combustible para un circuito de combustible específico ha alcanzado un valor máximo permitido, una segunda división de flujo de combustible que influye en un segundo circuito de combustible puede ajustarse una cantidad fija predefinida. Si los datos basados en frecuencia medidos indican que el motor GT está operando dentro de un intervalo sugerido, entonces se concluye el proceso alternativo. De lo contrario, la segunda división de flujo de combustible se ajusta de manera recurrente la misma cantidad fija predefinida hasta que la amplitud de los datos basados en frecuencia se mueva a niveles aceptables o se alcance un valor máximo permitido de la segunda división de flujo de combustible. En las realizaciones, la cantidad fija predefinida puede variar en función de la división de flujo de combustible que se esté monitorizando, el número de incrementos de ajuste que se hayan aplicado a una división de flujo de combustible específica, u otras condiciones o parámetros que influyan en el ajuste de la división de flujo de combustible.

En otro caso, si el proceso alternativo se ha repetido de manera recurrente varias veces de tal manera que la división de flujo de combustible para un circuito de combustible específico ha alcanzado un valor máximo permitido, se interrumpe el ajuste gradual de la división de flujo de combustible. Al cesar el ajuste gradual, puede recurrirse a un ajuste de la temperatura del gas para llevar la operación del motor GT dentro de un intervalo de rendimiento específico. Si el ajuste a la temperatura del gas no logra poner a punto adecuadamente el motor GT, se comunica una indicación de alarma a un operario. Esta indicación de alarma puede comunicarse a una consola, un buscapersonas, un dispositivo móvil u otra tecnología adaptada para recibir un mensaje electrónico y retransmitir una notificación al operario. El operario tendrá la opción de aumentar la temperatura del gas combustible o aumentar la temperatura de disparo del motor. Si se selecciona esta opción, el controlador de puesta a punto automática ajustará gradualmente cualquiera de estos parámetros y repetirá este proceso hasta que la unidad esté conforme o se alcance un límite máximo. En el caso de que este proceso no sea exitoso, una indicación de alarma puede alertar al operario de que la puesta a punto automática no ha logrado poner la operación del motor de turbina de gas dentro del intervalo sugerido, y que se recomiendan ajustes manuales en la cámara de combustión o el sistema de control antes de completar la puesta a punto.

Además de ajustar la división de flujo de combustible a la puesta a punto del motor GT, puede usarse una AET combinada con una puesta a punto gradual para encontrar una carga óptima para el motor GT. La AET permite una reducción gradual de la carga en el motor GT, a la vez que mantiene las dinámicas de combustión y las emisiones dentro de un intervalo operativo preferido a través de la monitorización de criterios y una puesta a punto gradual, optimizando la carga en el motor GT para un conjunto dado de condiciones y criterios operativos. La AET permite que un operario del motor GT inicie la puesta a punto automática en cualquier momento, como cuando las condiciones ambientales han cambiado, o cuando la puesta a punto es preferible de otro modo, pero cuando la puesta a punto manual es imposible de otro modo o inviable. Una puesta a punto regular permite que el motor GT opere constantemente más cerca de los límites operativos de carga (LOL) a la vez que mantiene los parámetros seleccionados dentro de los intervalos deseados, permitiendo una salida más eficiente del motor GT. También elimina la necesidad de una puesta a punto manual, permitiendo la operación del motor GT sin interrupciones de puesta a punto programadas y menores costes de mantenimiento. La AET puede usarse en combinación con un ajuste de división de flujo de combustible para determinar una nueva carga operativa más baja, carga en la que el rendimiento de turbina es óptimo, y la nueva temperatura de referencia de turbina correspondiente (TTRF), para un conjunto dado de condiciones operativas.

En una realización de AET, se proporciona un método para disminuir la carga combinado con una puesta a punto gradual para encontrar una nueva TTRF mínima. La carga proporcionada al motor GT corresponde a una TTRF operativa, que es la temperatura operativa del motor GT a la que el motor GT puede funcionar en un modo de combustible premezclado durante un período prolongado de tiempo. La TTRF se establece a través de una calibración de carga, que se realiza tradicionalmente a través de la puesta a punto manual de la carga suministrada al motor GT. Como se ha analizado anteriormente, la puesta a punto manual se realiza a intervalos espaciados regulares, para minimizar las desventajas. Para maximizar la flexibilidad operativa del motor GT, la carga operativa más baja y la TTRF más baja correspondiente a la que se cumplen todos los parámetros de control, deben calibrarse y usarse de la manera más consistente posible durante la operación del motor GT. La AET con puesta a punto gradual permite que un operario calibre y ponga a punto una nueva carga y una nueva TTRF correspondiente, tan a menudo como se desee para igualar las condiciones operativas para maximizar la flexibilidad operativa del motor GT.

A un nivel alto, la AET comienza cuando se proporciona una entrada a un motor GT o un controlador de puesta a punto automática asociado para iniciar la AET. Una serie de criterios operativos (es decir, parámetros, incluidos los analizados anteriormente relacionados con las emisiones y dinámicas) se comprueban, y una vez cumplidos esos criterios, la carga en el motor GT se reduce un incremento predefinido. Con cada disminución de carga, los parámetros y criterios del motor GT se monitorizan para determinar si permanecen dentro de los límites configurados, manteniendo el motor GT "a punto". Cuando la carga se disminuye a un punto en el que uno o más criterios de reducción monitorizados no se cumplen (por ejemplo, han superado los límites permitidos o configurados), la carga se mantiene a ese nivel y se inicia un proceso de puesta a punto gradual. La puesta a punto gradual en esta etapa puede controlarse

manualmente por el operario usando unos mandos de puesta a punto para ajustar un margen de puesta a punto, o automáticamente por el controlador de puesta a punto automática. Como ejemplo, la puesta a punto puede realizarse ajustando una división de combustible. Si la puesta a punto restaura los criterios monitorizados a intervalos aceptables después de uno o más intentos de puesta a punto (determinados por el usuario), la reducción de carga gradual continúa, disminuyendo la carga un incremento predefinido adicional para continuar el proceso.

Si la puesta a punto no restaura los parámetros monitorizados a intervalos aceptables o límites configurados, o bien la primera vez que un parámetro se desajusta o en una etapa de reducción posterior, el operario o el controlador de puesta a punto automática pueden intentar poner a punto la carga un número seleccionado de veces (por ejemplo, tres veces) para intentar ajustar la carga lo suficiente como para que el motor GT vuelva a ponerse a punto, estando cada uno de los criterios monitorizados de nuevo dentro de los límites configurados. Si el uno o más parámetros o criterios que están desajustados no se llevan dentro de los límites configurados después del número de veces seleccionado, o si se agota un margen de puesta a punto (por ejemplo, el margen de división de combustible de PM1), la carga se aumenta a la carga previamente determinada donde todos los criterios y parámetros se han cumplido. Esta se convierte en la nueva carga mínima del motor GT, y la TTRF correspondiente se convierte en la nueva TTRF de reducción de carga mínima para una temperatura de entrada de compresor (CTIM) dada. El motor GT puede usar esta TTRF de reducción de carga mínima hasta que se determine que debe calibrarse una nueva carga y la TTRF correspondiente.

Durante la reducción, a menudo se incorporan varias protecciones contra la extinción de llama del motor GT en el sistema de control del motor GT. Estas pueden incluir: unos límites de mando de puesta a punto restringidos, un algoritmo de puesta a punto transitorio que puede usarse durante condiciones de carga transitoria, alarmas de operario que indican la transferencia inminente de un modo de combustible premezclado por el motor GT, alarmas de operario que indican la entrada en un nuevo intervalo de CTIM o niveles mínimos de búfer de carga. Con respecto a los niveles mínimos de búfer de carga, puede usarse una nueva TTRF mínima para calcular diferentes niveles operativos de TTRF. La TTRF mínima proporciona la TTRF más baja permitida para la operación del motor GT en un modo de combustible premezclado, por debajo del que las señales pobres van más allá de los límites establecidos, en cuyo caso se superan los parámetros operativos y se extingue la llama del motor GT a menos que se cambie el modo de combustible. Esto puede activar alarmas o condiciones de seguridad, y se prefiere evitar el cambio de combustible o la extinción de llama durante la operación. A menudo se calibra y almacena una TTRF de temperatura más alta, para proporcionar un punto de transferencia tal que la TTRF no alcance la TTRF mínima antes de que se produzca la transferencia del modo de combustible premezclado. Esta TTRF más alta se denomina TTRF de transferencia. Puede calcularse una TTRF de transferencia tomando la TTRF mínima para un conjunto dado de condiciones operativas y añadiendo un primer margen de temperatura seleccionado para proporcionar una TTRF de transferencia que sea más alta que la TTRF mínima. La TTRF de transferencia activa el cambio del modo de combustible antes de caer por debajo de la TTRF mínima, evitando la extinción de llama u otras condiciones de alarma o seguridad. La incorporación de una TTRF de transferencia que se calcula utilizando la TTRF mínima permite una mayor estabilidad operativa del motor GT.

Adicionalmente, puede calcularse una TTRF operativa. La TTRF operativa corresponde a la carga mínima a la que el motor GT puede funcionar de manera segura y eficaz en el modo de combustible premezclado durante un período prolongado de tiempo. La TTRF operativa es la TTRF en la que el motor GT funciona de manera más eficiente para un conjunto dado de condiciones operativas, durante su operación normal. Es ventajoso poner a punto la carga para proporcionar una TTRF operativa que sea precisa, debido a que hacerlo así permite que el motor GT opere más cerca de su LOL. Al usar la reducción de carga gradual combinada con una puesta a punto gradual ajustando la división de flujo de combustible, la carga del motor GT puede ponerse a punto y optimizarse según se desee.

Las ventajas y características adicionales de la presente invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, y en parte serán evidentes para los expertos en la materia tras examinar lo siguiente, o pueden aprenderse a partir de la puesta en práctica de la invención. La presente invención se describirá a continuación con referencia específica a los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describe en detalle a continuación con referencia a las figuras de los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es un diagrama de bloques de un entorno de puesta a punto a modo de ejemplo adecuado para su uso en las realizaciones de la presente invención;
- la figura 2 es un diagrama a modo de ejemplo que representa los ajustes de división de flujo de combustible recomendados para una condición rica en combustible, de acuerdo con una realización de la presente invención;
- la figura 3 es un diagrama a modo de ejemplo que representa los ajustes de división de flujo de combustible recomendados para una cámara de combustión que está provista de dos puertos de inyección, de acuerdo con una realización de la presente invención;

la figura 4 es un diagrama de flujo de un método general para emplear un controlador de puesta a punto automática para implementar un proceso de puesta a punto que incluye recopilar mediciones de una cámara de combustión y modificar las divisiones de flujo de combustible en función de las mediciones, de acuerdo con una realización de la presente invención;

la figura 5 es un diagrama de flujo de un primer método general para realizar una reducción ampliada automática con puesta a punto gradual para mantener la emisión y las dinámicas, de acuerdo con un aspecto de la presente invención;

la figura 6 es un diagrama de bloques de un entorno de puesta a punto a modo de ejemplo para realizar una reducción ampliada automática con puesta a punto gradual para mantener la emisión y las dinámicas de un motor de turbina de gas, de acuerdo con un aspecto de la presente invención;

la figura 7 es un diagrama de flujo para un segundo método general para realizar una reducción ampliada automática con puesta a punto gradual para mantener la emisión y las dinámicas de un motor GT, de acuerdo con un aspecto de la presente invención;

la figura 8 es un diagrama que muestra una representación gráfica de una TTRF mínima seleccionada, una TTRF de transferencia y una TTRF de carga operativa para un motor GT, incluyendo criterios operativos monitorizados, de acuerdo con un aspecto de la presente invención; y

la figura 9 es un diagrama que muestra una ilustración gráfica de una reducción ampliada automática con puesta a punto gradual para mantener la emisión y las dinámicas de un motor GT, incluyendo criterios operativos monitorizados, de acuerdo con un aspecto de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

La materia objeto de la presente invención se describe con especificidad en el presente documento para cumplir los requisitos legales. No obstante, la descripción en sí misma no pretende limitar el alcance de la presente patente. Más bien, los inventores han contemplado que la materia objeto reivindicada también podría incorporarse de otras maneras, para incluir diferentes componentes, combinaciones de componentes, etapas o combinaciones de etapas similares a los descritos en el presente documento, en relación con otras tecnologías presentes o futuras.

Como apreciarán los expertos en la materia, las realizaciones de la presente invención pueden incorporarse como, entre otras cosas: un método, sistema o producto de programa informático. Por consiguiente, las realizaciones pueden tomar la forma de una realización de hardware, una realización de software, o una realización que combina software y hardware. En una realización, la presente invención toma la forma de un producto de programa informático que incluye instrucciones utilizables por ordenador incorporadas en uno o más medios legibles por ordenador.

Los medios legibles por ordenador incluyen medios volátiles y no volátiles, medios extraíbles y no extraíbles, y contempla medios legibles por una base de datos, un conmutador y otros dispositivos de red diferentes. Los conmutadores de red, enrutadores y componentes relacionados son de naturaleza convencional, como son los medios de comunicación con el mismo. A modo de ejemplo, y no de limitación, los medios legibles por ordenador comprenden medios de almacenamiento informático y medios de comunicación.

Los medios de almacenamiento informático o medios legibles por máquina, incluyen medios implementados en cualquier método o tecnología para almacenar información. Ejemplos de información almacenada incluyen instrucciones utilizables por ordenador, estructuras de datos, módulos de programa y otras representaciones de datos. Los medios de almacenamiento informático incluyen, pero no se limitan a, RAM, ROM, EEPROM, memoria flash u otra tecnología de memoria, un CD-ROM, discos digitales versátiles (DVD), medios holográficos u otro almacenamiento de disco óptico, casetes magnéticos, cinta magnética, almacenamiento en disco magnético y otros dispositivos de almacenamiento magnético. Estos componentes de memoria pueden almacenar datos momentánea, temporal o permanentemente.

Los medios de comunicación habitualmente almacenan instrucciones utilizables por ordenador, incluidas estructuras de datos y módulos de programa, en una señal de datos modulada. La expresión "señal de datos modulada" hace referencia a una señal propagada que tiene una o más de sus características establecidas o cambiadas para codificar información en la señal. Una señal de datos modulada a modo de ejemplo incluye una onda portadora u otro mecanismo de transporte. Los medios de comunicación incluyen cualquier medio de entrega de información. A modo de ejemplo, y no de limitación, los medios de comunicación incluyen medios cableados, como una red cableada o una conexión cableada directa, y medios inalámbricos, tales como acústicos, infrarrojos, radio, microondas, espectro propagado y otras tecnologías de medios inalámbricos. Las combinaciones de lo anterior se incluyen dentro del alcance de los medios legibles por ordenador.

Como se ha descrito anteriormente, las realizaciones de la presente invención hacen referencia, en general, a la puesta a punto automática de un motor GT. Haciendo referencia a la figura 1, se representa un motor GT 110 que aloja una pluralidad de cámaras de combustión 115. Generalmente, con fines de análisis, el motor GT 110 puede incluir cualquier cámara de combustión de baja emisión. En un caso concreto, estas cámaras de combustión de baja emisión pueden estar dispuestas en una configuración can-anular alrededor del motor GT 110. Un tipo de motor GT (por ejemplo, los motores GT de servicio pesado) habitualmente pueden estar provistos de, aunque sin limitarse a, 6

a 18 cámaras de combustión individuales, cada una de las mismas equipada con un revestimiento de combustión, una cubierta de extremo y carcasas. Otro tipo de motor GT (por ejemplo, los motores GT de servicio liviano) puede estar provisto de menos cámaras de combustión. Por consiguiente, en función del tipo de motor GT, puede haber varios circuitos de combustible diferentes utilizados para operar el motor GT 110. Además, puede haber circuitos de combustible individuales que se correspondan con cada una de la pluralidad de cámaras de combustión 115 unidas al motor GT 110. Como tal, debe apreciarse y entenderse que el controlador de puesta a punto automática 150, y el proceso de puesta a punto ejecutado por el mismo (véase el número de referencia 400 de la figura 4), pueden aplicarse a cualquier número de configuraciones de motores GT y que el tipo de motores GT descrito a continuación no debe interpretarse como limitante del alcance de la presente invención.

Como se ha analizado anteriormente, la pluralidad de cámaras de combustión 115 (por ejemplo, cámaras de combustión de baja emisión) pueden ser propensas a niveles elevados de fluctuación de presión dentro del revestimiento de la cámara de combustión. Esta fluctuación de presión se conoce como "dinámicas de combustión". Si no se tienen en cuenta, las dinámicas de combustión pueden tener un drástico impacto en la integridad y la vida útil de la pluralidad de cámaras de combustión 115, conduciendo finalmente a un fallo catastrófico. Estas dinámicas de combustión pueden mitigarse ajustando las divisiones de flujo de combustible del flujo de gas de cámara de combustión entre varios grupos de boquillas dentro de la pluralidad de cámaras de combustión 115. Generalmente, una división de flujo de combustible se ajusta habitualmente para cada una de la pluralidad de cámaras de combustión 115, por lo que las cámaras de combustión (quemadores) se ponen a punto por igual, a diferencia de la puesta a punto a nivel de quemador individual. Estas diferentes "divisiones de flujo de combustible" se ponen a punto ocasionalmente para garantizar que se mantengan unos niveles aceptables (niveles convencionalmente bajos) de dinámicas de combustión mientras que, al mismo tiempo, se favorecen niveles de emisión aceptables. Los niveles de emisión aceptables se relacionan con la cantidad de contaminantes que genera el motor GT 110. Las programaciones, que regulan la división de flujo de combustible para cada circuito de combustible, habitualmente están codificadas de manera fija en un sistema de control (no mostrado) del motor GT 110. En un caso concreto, estas programaciones están en función de una referencia que podría ser, entre otras cosas, una temperatura de referencia de entrada de turbina (TIRF) o una carga en el motor GT 110.

Con el paso del tiempo, varios parámetros influirán en las dinámicas de combustión. En particular, los cambios en las condiciones ambientales y/o la variación de la composición del gas y/o el desgaste normal pueden degradar la operación del motor GT. Esta degradación conduce a un "re-puesta a punto" regular de la cámara de combustión para mantener las dinámicas de combustión y las emisiones dentro de unos límites aceptables. Tal y como se trata en el presente documento, un sistema de control de puesta a punto automática, o el controlador de puesta a punto automática 150 de la figura 1, se usa para evaluar el estado del motor GT 110 y la pluralidad de cámaras de combustión 115 en términos de parámetros tales como las dinámicas de combustión, el flujo de aire, los flujos de combustible, las emisiones y la distribución de presión. En función de estos parámetros, se alcanzan las divisiones de flujo de combustible adecuadas ajustando gradualmente las divisiones de flujo de combustible hasta que se haya quitado la alarma, estableciéndose la alarma al detectar que una amplitud de un pulso de presión supera un límite superior predeterminado. Por consiguiente, las realizaciones de la presente invención se refieren al controlador de puesta a punto automática 150 y al proceso de puesta a punto asociado que permite la puesta a punto automática de las dinámicas de combustión y las emisiones usando pequeños cambios graduales consistentes de la división de flujo de combustible.

Un proceso de puesta a punto general realizado por el controlador de puesta a punto automática 150 puede comprender una o más de las etapas que se describen inmediatamente a continuación. Inicialmente, se monitorizan y registran diversas configuraciones de señales de presión de la pluralidad de cámaras de combustión 115. Estas señales de presión registradas se pasan a través de una transformada de Fourier, donde las señales de presión se convierten en un formato o espectro de datos de amplitud frente a frecuencia. A continuación, se monitorizan la amplitud y las frecuencias, y la amplitud se compara con un límite superior predeterminado para cada banda de frecuencia predefinida. En general, el límite superior predeterminado se define en términos de libras por pulgada cuadrada (psi) para bandas de frecuencia predefinidas. No obstante, en otros casos, los límites superiores predeterminados pueden expresarse en otros términos o unidades, usándose otros tipos de dispositivos para medir el rendimiento de las cámaras de combustión 115 (por ejemplo, acelerómetros). Si se determina que una o más de las amplitudes basadas en frecuencia superan su límite superior predeterminado respectivo para una banda de frecuencia predeterminada, entonces el controlador de puesta a punto automática 150 determina en primer lugar qué división de flujo de combustible ajustar, y en segundo lugar modifica la división de flujo de combustible asociada con la banda de frecuencia específica. Este ajuste realizado en la división de flujo de combustible se ejecuta en una cantidad predefinida.

Una vez que se realiza el ajuste de división de flujo de combustible, se repite el proceso. Es decir, las etapas de monitorizar y comparar la amplitud de una serie de bandas de frecuencia predeterminadas con un límite superior predeterminado, y ajustar unas divisiones de flujo de combustible predeterminadas se repiten si la amplitud de presión dinámica está por encima del límite superior predeterminado. Específicamente, cuando se determina que la amplitud de presión dinámica existe por encima del límite superior predeterminado, se realiza el mismo ajuste predeterminado a la división de flujo de combustible. El proceso de puesta a punto se repite según sea necesario hasta que la amplitud

de presión dinámica caiga por debajo del límite superior predeterminado o hasta que la división de flujo de combustible no pueda ajustarse más.

5 Si una primera división de flujo de combustible no puede ajustarse más, entonces una segunda división de flujo de combustible se ajusta una segunda velocidad predefinida y el proceso de puesta a punto se repite, o se emite una indicación de alarma a un operario. Con respecto al ajuste de la segunda división de flujo de combustible, el proceso de puesta a punto se repite hasta que la amplitud de presión dinámica cae por debajo del límite superior predeterminado o la segunda división de combustible no puede ajustarse más. Si una segunda división de flujo de combustible no puede ajustarse más, entonces se ajusta una tercera o más divisiones de flujo de combustible.

10 Aunque acaba de describirse un esquema para ajustar iterativamente las divisiones de flujo de combustible en sucesión, los expertos en la materia deben entender y apreciar que pueden usarse otros tipos de esquemas adecuados que ajustan las divisiones de flujo de combustible, y que las realizaciones de la presente invención no se limitan a los esquemas que se centran en una división de flujo de combustible en un momento. Por ejemplo, una realización del esquema de puesta a punto puede ajustar iterativamente una primera división de flujo de combustible en un incremento predefinido hasta que la amplitud de presión dinámica caiga por debajo del límite superior predeterminado o hasta que se alcance un número específico de iteraciones, lo que ocurra primero. Si se alcanza el número específico de iteraciones, el esquema de ajuste hace que una segunda división de flujo de combustible se ajuste iterativamente en otro incremento predefinido hasta que la amplitud de presión dinámica caiga por debajo del límite superior predeterminado o hasta que se alcance otro número específico de iteraciones, lo que ocurra primero. Si se alcanza el otro número específico de iteraciones, el esquema de puesta a punto vuelve a la primera división de flujo de combustible. Específicamente, el esquema de puesta a punto hace que la primera división de flujo de combustible se ajuste iterativamente de nuevo en el incremento predefinido hasta que la amplitud de presión dinámica caiga por debajo del límite superior predeterminado o hasta que se alcance un tercer número específico de iteraciones, lo que ocurra primero. A continuación, el esquema de puesta a punto puede volver a la segunda división de flujo de combustible o pasar a una tercera división de flujo de combustible con fines de ajuste.

25 Además de los ajustes de división de flujo de combustible, se proporciona un método para realizar una AET en una cámara de combustión de un motor GT combinada con una puesta a punto gradual para mantener la emisión y las dinámicas para encontrar una carga mínima, de acuerdo con un aspecto de la presente invención. La AET se usa para calibrar una nueva TTRF mínima, una nueva TTRF de transferencia y una nueva TTRF operativa. Esto puede hacerlo un operario seleccionando un botón o activador que indica "buscar carga mínima". Las etapas de reducción pueden repetirse de manera recurrente y pueden continuar hasta que se calibre una nueva TTRF mínima, una nueva TTRF de transferencia y una nueva TTRF operativa. El método comprende recibir una entrada para realizar una AET en el motor GT. Después de recibir la entrada, se monitorizan uno o más criterios de reducción del motor GT para determinar si se cumplen todos del uno o más criterios de reducción. Tras determinar que se cumplen todos del uno o más criterios de reducción, una TTRF de transferencia puede reducirse temporalmente si la diferencia entre una TTRF actual y la TTRF de transferencia es menor que una cantidad configurada. Se envía una señal para reducir una carga en el motor GT en una cantidad especificada. Esta cantidad especificada se define por el usuario o se basa en incrementos. Durante y después de que se haya reducido la carga, se monitoriza el uno o más criterios de reducción para determinar si no se cumple alguno del uno o más criterios de reducción. Si se cumplen todos los criterios de reducción, la carga puede disminuirse nuevamente en la cantidad especificada.

40 Cuando se reduce la carga y se determina que uno o más de los criterios de reducción no se cumplen, puede iniciarse la puesta a punto de la carga. La puesta a punto puede comprender ajustar la división de flujo de combustible, como se ha descrito anteriormente, u otros métodos de puesta a punto. Si la puesta a punto da como resultado que todos los criterios de reducción se cumplen una vez más, la AET continúa, y la carga puede reducirse en una etapa adicional. Tras determinar que uno o más de los criterios de reducción no se cumplen después de que la puesta a punto ha comenzado, pueden intentarse puestas a punto repetidas hasta que se agote un margen de puesta a punto, o hasta que la puesta a punto haya fallado un número seleccionado de veces. Después de determinar que no se cumplen todos los criterios monitorizados después de realizar la puesta a punto el número seleccionado de veces, una TTRF asociada con una carga determinada previamente en la que se cumplieron todos los criterios de reducción puede almacenarse como la nueva TTRF mínima para una CTIM seleccionada del motor GT.

50 El proceso de puesta a punto puede repetirse de manera recurrente tantas veces como sea necesario, aumentando o disminuyendo la carga y monitorizando los criterios operativos deseados para calibrar una carga que proporcione una TTRF mínima que cumpla todos los criterios operativos y que esté lo más cerca posible del margen de puesta a punto. Durante la AET, la carga puede reducirse en cantidades configuradas, siendo las cantidades configuradas las mismas o estando sujetas a variación manual, en cada una de las etapas recurrentes. Por ejemplo, la carga puede reducirse en 5 megavatios en cada etapa de reducción de carga, o una cantidad diferente seleccionada por el operario, o una cantidad programada en el sistema de puesta a punto automática. El sistema puede configurarse para permitir al operario anular el proceso y aumentar o disminuir el tamaño de las reducciones de carga, según se desee.

La CTIM en la que una TTRF mínima está almacenada o asociada puede corresponder a uno o más intervalos de CTIM, dependiendo de las condiciones operativas y el entorno, y la precisión deseada de la TTRF mínima frente a la

- CTIM real. Por ejemplo, un primer intervalo de CTIM puede corresponder a una temperatura inferior a $-3,89\text{ }^{\circ}\text{C}$ (25 grados $^{\circ}\text{F}$), un segundo intervalo de CTIM puede corresponder a una temperatura entre $-3,89\text{ }^{\circ}\text{C}$ (25 grados $^{\circ}\text{F}$) y $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (50 grados $^{\circ}\text{F}$), un tercer intervalo de CTIM puede corresponder a una temperatura entre $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (50 grados $^{\circ}\text{F}$) y $23,89\text{ }^{\circ}\text{C}$ (75 grados $^{\circ}\text{F}$), y un cuarto intervalo de CTIM puede corresponder a una temperatura superior a $23,89\text{ }^{\circ}\text{C}$ (75 grados $^{\circ}\text{F}$). Estos intervalos de CTIM corresponden a temperaturas en la entrada del motor GT, que varían a lo largo del año. Estos intervalos demuestran cómo con la variación en la CTIM real, una puesta a punto frecuente permite que el motor GT opere más cerca del LOL para proporcionar un mejor rendimiento. Como resultado, el uso de AET con frecuencia (en comparación con la puesta a punto manual) puede proporcionar una mayor flexibilidad operativa del motor GT, haciendo coincidir la carga y los criterios deseados con la CTIM de manera más consistente.
- Los diferentes criterios y parámetros de reducción monitorizados durante la operación del motor GT pueden representar condiciones que se miden usando uno o más transductores de presión, dispositivos de prueba de emisiones, acelerómetros y otros elementos que son capaces de monitorizar la operación del motor GT, como se ha descrito anteriormente. Un ejemplo no limitante de criterios de reducción monitorizados puede incluir apagado por mezcla pobre (LBO), tono frío (CT), tono caliente (HT), óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO) y posición de las válvulas de división de combustible (por ejemplo, PM1), o mínimos, máximos o promedios de todos los criterios de reducción mencionados anteriormente. También pueden monitorizarse parámetros adicionales relacionados con las emisiones y dinámicas del motor GT. Estos parámetros, u otros relacionados con la operación del motor GT, pueden usarse para indicar si la puesta a punto se cumple o no, y proporcionar una indicación de la TTRF mínima adecuada.
- Además de usar AET para calcular una nueva TTRF de reducción de carga mínima, puede calcularse una nueva TTRF de transferencia a partir de la TTRF de reducción de carga mínima añadiendo un primer margen de temperatura seleccionado a la TTRF de reducción de carga mínima para proporcionar la nueva TTRF de transferencia. Esto puede realizarse después de que se complete el proceso de AET y se elimine la modificación temporal de la TTRF de transferencia. Tal como se ha explicado anteriormente, la TTRF de transferencia puede corresponder a un nivel deseado de seguridad operativa para evitar el cambio de combustible, la extinción de llama o la activación de las condiciones de alarma. A modo de ejemplo, un primer margen de temperatura seleccionado puede ser de 15 grados, de tal manera que la TTRF de transferencia sea 15 grados más alta que la TTRF de reducción de carga mínima. El margen de temperatura seleccionado puede aumentarse o disminuirse en función del nivel deseado de margen de seguridad para la operación del motor GT.
- Además de calcular una nueva TTRF de reducción de carga mínima y TTRF de transferencia, también puede calcularse una nueva TTRF operativa de reducción a partir de la TTRF de reducción de carga mínima. La TTRF operativa de reducción es la TTRF a la que el motor GT puede funcionar durante un período prolongado de tiempo en el modo de combustible premezclado. La TTRF operativa de reducción puede calcularse añadiendo un segundo margen de temperatura seleccionado al TTRF de reducción de carga mínima para proporcionar una nueva TTRF operativa de reducción. El segundo margen de temperatura seleccionado es mayor que el primer margen de temperatura seleccionado. Por ejemplo, el segundo margen de temperatura seleccionado puede ser de 30 grados, de tal manera que la TTRF operativa de reducción sea 30 grados más alta que la nueva TTRF de reducción de carga mínima y 15 grados más alta que la nueva TTRF de transferencia. El procesador puede configurarse para transmitir la nueva TTRF de reducción de carga mínima, la nueva TTRF de transferencia, la nueva TTRF operativa y la información de los márgenes primero y segundo a un controlador o al motor GT para proporcionar nuevos puntos de referencia para la TTRF correspondiente del motor GT.
- Cuando se determina que después de una reducción de carga, uno o más criterios de reducción no se cumplen, el procesador puede comprobar la restricción de los mandos de puesta a punto usados para poner a punto la carga eléctrica con respecto a un ajuste configurado por el usuario. El movimiento del mando de puesta a punto, o el margen de puesta a punto disponible, puede restringirse para evitar errores o alarmas provocados por una puesta a punto excesiva o por superar los límites permitidos de un parámetro de puesta a punto (por ejemplo, división de combustible PM1). Puede ser necesario que el procesador o el operario comprueben la restricción de los mandos de puesta a punto antes de la puesta a punto durante la AET para garantizar que haya un intervalo adecuado disponible para la puesta a punto. En un aspecto similar, los mandos pueden restringirse de manera que se use menos del margen de puesta a punto máximo al ajustar la carga, evitando el movimiento de la TTRF real demasiado cerca de la TTRF mínima, lo que podría provocar la extinción de la llama, tal como se comentó anteriormente. Cuando no se realiza la AET, los mandos de puesta a punto pueden estar sin restricciones para permitir que todo el margen se use para otros procesos de puesta a punto.
- Una vez que se ha calibrado la TTRF de reducción de carga mínima, se actualiza una banda inactiva de TTRF de transferencia y la banda inactiva de TTRF operativa del motor GT. La restricción en cualquier mando de puesta a punto aplicable, como un mando que controla una división de combustible, usado durante la puesta a punto, se elimina, y la nueva TTRF de reducción de carga mínima puede visualizarse en una pantalla o enviarse a otro componente de visualización para proporcionar una notificación al operario. Pueden configurarse diversas alarmas de indicación y de operario para indicar al operario que debe recalibrarse una TTRF mínima. Adicionalmente, las alarmas de operario pueden configurarse para alertar a un operario si el motor GT alcanza una TTRF que es más baja que una TTRF de

transferencia seleccionada. Adicionalmente, cuando no se realiza la AET, si un motor GT está expuesto a una nueva CTIM, puede proporcionarse una alarma o indicación al operario o al sistema de puesta a punto, proporcionando una indicación para encontrar una nueva carga para recalibrar la TTRF mínima usando AET.

Además de proporcionar un método para AET, también se proporciona un sistema para AET, de acuerdo con una realización de la presente invención. El sistema puede comprender un motor GT que incluye una o más cámaras de combustión que están provistas de una primera TTRF mínima, una primera TTRF de transferencia y una TTRF operativa. También pueden proporcionarse un controlador de carga y un controlador de puesta a punto automática para realizar la AET y la puesta a punto gradual. Puede proporcionarse un dispositivo de usuario o de entrada de usuario para enviar una entrada de usuario al controlador de puesta a punto automática, así como un dispositivo de salida o visualización de usuario para proporcionar información y retroalimentación del controlador de puesta a punto automática al operario. El controlador de puesta a punto automática puede configurarse para proporcionar órdenes al controlador de carga para aumentar o disminuir la carga suministrada al motor GT. El controlador de puesta a punto automática u otro controlador operativo de turbina, puede configurarse para enviar señales al motor GT o al controlador de carga para establecer la primera TTRF mínima, una primera TTRF de transferencia y la TTRF operativa para el motor GT. También pueden proporcionarse una serie de componentes para medir los criterios de puesta a punto, los componentes de medición configurados para enviar datos, señales y/o mediciones a los otros componentes, como el controlador de puesta a punto automática o la salida o pantalla de usuario, según sea necesario para realizar la AET o el proceso de puesta a punto y proporcionar una retroalimentación adecuada a un operario.

El controlador de puesta a punto automática, o el dispositivo de entrada de usuario, puede incluir un componente receptor de entrada, como un botón o interruptor, para recibir una indicación para realizar la AET. El sistema puede comprender además un dispositivo que está configurado para alertar al operario para que realice la AET en momentos establecidos, como cuando se introduce un nuevo intervalo de CTIM. El controlador de puesta a punto automática también puede incluir uno o más mandos de puesta a punto para permitir que un usuario ajuste la carga de manera manual o selectiva durante el proceso de puesta a punto, o establezca una reducción de etapa deseada para las reducciones de carga realizadas durante el proceso de AET.

En una realización, el proceso de puesta a punto de AET puede configurarse para detectar si se requiere una TTRF mínima más alta y, tras determinar que se requiere una TTRF mínima más alta, determinar una nueva TTRF mínima más alta aumentando gradualmente la carga en el motor GT. En una realización de este tipo, el proceso de AET puede comenzar cuando un operario presiona un botón para encontrar una nueva carga mínima. Una vez que el ajuste de carga ha comenzado, un controlador de puesta a punto automática puede comprobar si el sistema funciona correctamente comprobando los criterios de reducción. Los criterios de reducción pueden incluir: determinar si se ha alcanzado un límite de alarma, comprobar si se han alcanzado los límites de puesta a punto, comprobar si se han alcanzado otros límites (como la TTRF promedio mínima, el límite de CO, los límites mínimos de la válvula de división de combustible, etc.) que evitarían que se produjera la AET, y si no se activan alarmas para los criterios mencionados anteriormente, seguir con la puesta a punto o ajuste de carga. Si se produce un error, el sistema puede configurarse para salir del bucle de puesta a punto, o si se produce un error de puesta a punto automática que indica que la TTRF mínima es demasiado baja, el sistema puede iniciar un ajuste de carga gradual en el motor GT para aumentar la carga en una etapa, o más bien mediante un ajuste de potencia seleccionado, y monitorizar si se cumplen los criterios de puesta a punto. Tras alcanzar una carga en la que se cumplen nuevamente los criterios de puesta a punto, la TTRF puede guardarse como la nueva TTRF mínima aumentada. A continuación, puede calcularse una nueva TTRF de transferencia correspondiente y una TTRF operativa, tal como se comentó anteriormente. Por lo tanto, el algoritmo de puesta a punto puede permitir el aumento de la carga para determinar una nueva TTRF mínima más alta. Si se requiere AET, la AET puede comenzar a disminuir la carga para encontrar una nueva TTRF mínima que sea inferior a la TTRF actual, como se ha descrito anteriormente. En este sentido, la carga aplicada al motor GT puede ajustarse hacia arriba o hacia abajo para encontrar una carga operativa y la TTRF correspondiente que mantenga el motor GT operando dentro de unos parámetros permitidos. Adicionalmente, la flexibilidad operativa y el rendimiento del motor GT pueden optimizarse, permitiendo que el motor GT funcione más cerca del LOL.

Haciendo referencia a las figuras 1 y 4, a continuación, se describirá en detalle una realización a modo de ejemplo del proceso de puesta a punto. Inicialmente, la figura 1 ilustra un entorno de puesta a punto a modo de ejemplo 100 adecuado para su uso en las realizaciones de la presente invención. El entorno de puesta a punto a modo de ejemplo 100 incluye el controlador de puesta a punto automática 150, un dispositivo informático 140 y el motor GT 110. El controlador de puesta a punto automática 100 incluye un almacén de datos 135 y una unidad de procesamiento 130 que soporta la ejecución del componente de adquisición 131, el componente de procesamiento 132 y el componente de ajuste 133. Generalmente, la unidad de procesamiento 130 se incorpora como alguna forma de unidad informática (por ejemplo, una unidad central de procesamiento, un microprocesador, etc.) para soportar las operaciones de el o los componentes 131, 132 y 133 que se ejecutan en la misma. Como se utiliza en el presente documento, la frase "unidad de procesamiento" generalmente se refiere a un dispositivo informático dedicado con potencia de procesamiento y memoria de almacenamiento, que soporta un software operativo que subyace a la ejecución de software, aplicaciones y programas informáticos en el mismo. En un caso concreto, la unidad de procesamiento 130 está configurada con elementos de hardware tangibles, o máquinas, que son integrales o están operativamente acopladas, a un ordenador. En otro caso, la unidad de procesamiento puede comprender un procesador (no mostrado)

acoplado al medio legible por ordenador (analizado anteriormente). Generalmente, el medio legible por ordenador almacena, al menos temporalmente, una pluralidad de componentes informáticos de software que pueden ejecutarse por un procesador. Como se utiliza en el presente documento, el término "procesador" no pretende ser limitante y puede comprender cualquier elemento de la unidad de procesamiento que actúe en una capacidad informática. En tal capacidad, el procesador puede configurarse como un artículo tangible que procesa instrucciones. En una realización a modo de ejemplo, el procesamiento puede implicar extraer, decodificar/interpretar, ejecutar y escribir instrucciones (por ejemplo, reconstruir los gestos físicos presentando animaciones de los patrones de movimiento).

Además, el controlador de puesta a punto automática 100 está provisto del almacén de datos 135. Generalmente, el almacén de datos 135 está configurado para almacenar información asociada con el proceso de puesta a punto o datos generados al monitorizar el motor GT 100. En diversas realizaciones, dicha información puede incluir, sin limitación, datos de medición (por ejemplo, las mediciones 121, 122, 123 y 124) proporcionadas por unos sensores 120 acoplados al motor GT 110. Además, el almacén de datos 135 puede configurarse para que pueda buscarse para un acceso adecuado a la información almacenada. Por ejemplo, el almacén de datos 135 puede buscarse para programaciones con el fin de determinar qué división de flujo de combustible aumentar tras comparar la amplitud de presión dinámica medida con un límite superior predeterminado correspondiente. Se entenderá y apreciará que la información almacenada en el almacén de datos 135 puede configurarse y puede incluir cualquier información relevante para el proceso de puesta a punto. El contenido y el volumen de dicha información no pretenden limitar el alcance de las realizaciones de la presente invención de ninguna manera.

En las realizaciones, el controlador de puesta a punto automática 100 registrará tablas de búsqueda (por ejemplo, utilizando el almacén de datos 135 de la figura 1). Estas tablas de búsqueda pueden incluir diversa información relacionada con las condiciones operativas del motor GT y las cámaras de combustión unidas al mismo. A modo de ejemplo, las tablas de búsqueda pueden incluir una curva operativa con una banda de tolerancia sugerida que define los límites exteriores de una operación eficiente. Tras realizar el proceso de puesta a punto automática del motor GT, el controlador de puesta a punto automática puede reprogramarse automáticamente para registrar aspectos del proceso de puesta a punto en la curva operativa. Es decir, la curva operativa en la tabla de consulta se modifica para reflejar incidencias durante, y como resultado de, el proceso de puesta a punto. Ventajosamente, puede accederse a la curva operativa modificada durante el siguiente procedimiento de puesta a punto, haciendo, de este modo, cada puesta a punto posterior más eficiente (por ejemplo, reducir el número de incrementos de ajuste de flujo de combustible necesarios para llevar una condición por debajo del límite superior predeterminado). De esta manera, la tabla de consulta (por ejemplo, una matriz operativa) puede desarrollarse automáticamente a través del ajuste gradual de un parámetro a la vez. Como el ajuste gradual se almacena en la curva operativa, el controlador de puesta a punto automática aprende el rendimiento de puesta a punto óptimo para cualquier sistema operativo específico. Esto reduce en gran medida la cantidad de puesta a punto necesaria, lo que será beneficioso para las unidades en el control automático de red (AGC) donde los puntos estables pueden ser poco frecuentes o para las unidades que experimentan variaciones cíclicas repentinas en las propiedades del combustible o las condiciones ambientales.

En algunas realizaciones, si la puesta a punto por medio del ajuste de la división de flujo de combustible no mitiga una alarma de emisiones o dinámicas, puede suministrarse una desviación gradual para ajustar la temperatura de combustible a partir del punto óptimo de puesta a punto de división fuera de cumplimiento identificado por la sección anterior. No obstante, si la desviación gradual de la temperatura de combustible no es una opción, debido a una capacidad de manipulación de la temperatura de combustible ausente o limitada, y la unidad permanece en modo de alarma, puede emitirse una solicitud para permitir el ajuste de la curva de disparo del dispositivo GT. Si se concede la solicitud del operario, se proporciona una desviación de temperatura de disparo gradual a la curva de disparo de unidad existente en el punto óptimo fuera de cumplimiento descrito en la sección anterior.

Con referencia continua a la tabla de consulta almacenada en el controlador de puesta a punto automática 100, a continuación, se describirán las variaciones de la configuración de la tabla de consulta. En un caso concreto, se proporcionan una serie de tablas de búsqueda que representan gráficamente divisiones frente a TIRF, o carga. Cada una de estas tablas de búsqueda se refiere a una combinación de una serie de temperaturas ambiente y parámetros de gas. El "parámetro de gas" es característico de la composición y propiedades del gas, y puede implementarse como un valor relativo en comparación con un valor inicial nominal. El ajuste de puesta a punto se realiza en una TIRF estable, o carga. Siempre que se necesite un ajuste de desviación gradual debido a que se superó un nivel de alarma o un nivel de emisión, el algoritmo determina en primer lugar a qué temperatura ambiente y en qué familia de parámetros de gas está operando la unidad, y, a continuación, qué división de combustible cambiar y en qué dirección. En segundo lugar, el incremento de desviación deseado (hacia arriba o hacia abajo) y la TIRF actual, o carga, se registra. A continuación, el algoritmo determina qué tabla se modificará en función de la temperatura ambiente y el parámetro de gas registrados. Una vez definido, el algoritmo determina qué puntos en la gráfica de división frente a TIRF están asociados con el valor actual de TIRF. Tras identificar esos dos puntos, el valor de desviación para los dos puntos se modifica gradualmente (hacia arriba o hacia abajo), y el incremento se almacena en la tabla de consulta correcta.

Además, el entorno de puesta a punto a modo de ejemplo 100 incluye el dispositivo informático 140, que está operativamente acoplado a un dispositivo de presentación 145 para visualizar una pantalla de interfaz de usuario (UI)

155 que advierte al operario de un fallo al poner a punto automáticamente el motor GT 100. El dispositivo informático 140, mostrado en la figura 1, puede tomar la forma de diversos tipos de dispositivos informáticos. Únicamente a modo de ejemplo y no de limitación, el dispositivo informático 145 puede ser un ordenador personal, ordenador de sobremesa, ordenador portátil, dispositivo de mano, dispositivo electrónico de consumo (por ejemplo, un buscapersonas), dispositivo de mano (por ejemplo, un asistente personal digital), diversos servidores y similares. Cabe señalar, no obstante, que la invención no se limita a la implementación en tales dispositivos informáticos, sino que puede implementarse en cualquiera de una diversidad de diferentes tipos de dispositivos informáticos dentro del alcance de las realizaciones de la presente invención.

Haciendo referencia a la figura 4, a continuación, se analizará un proceso de puesta a punto 200 a la luz del entorno de puesta a punto a modo de ejemplo 100 de la figura 1. Generalmente, la figura 4 es un diagrama de flujo de un método general 400 para emplear el controlador de puesta a punto automática 150 de la figura 1 para implementar un proceso de puesta a punto que incluye recopilar mediciones de la pluralidad de cámaras de combustión 115 y modificar las divisiones de flujo de combustible en función de las mediciones, de acuerdo con una realización de la presente invención. Inicialmente, el método general 400 incluye monitorizar datos que representan las dinámicas de combustión del motor GT 100. En una realización, las dinámicas de combustión 122 se miden para cada una de la pluralidad de cámaras de combustión 115 usando los sensores 120 (por ejemplo, transductores de presión) que comunican los datos de medición al componente de adquisición 131. En otra realización, los sensores 120 comunican las emisiones 121 que se detectan desde el motor GT 100. En otras realizaciones más, los datos de medición recopilados del motor GT 110 pueden incluir, aunque sin limitación, los parámetros GT 123 y las presiones de colector de gas 124.

En algunos casos, se normalizan los datos recopilados del motor GT 100. Por ejemplo, los sensores 120 pueden configurarse como transductores de presión que detectan fluctuaciones de presión en cada una de la pluralidad de cámaras de combustión 115 e informan de esas fluctuaciones como las dinámicas de combustión 122. Las fluctuaciones pueden medirse durante un período de tiempo y enviarse al componente de adquisición 131 en forma de un promedio móvil de variabilidad de presión.

La etapa 430 del método general 430 se refiere a pasar los datos medidos a través de una transformada de Fourier u otro algoritmo apropiado, con el fin de convertir los datos a un formato de amplitud frente a frecuencia (utilizando el componente de procesamiento 132 de la figura 1). Este formato de amplitud frente a frecuencia puede adoptar una diversidad de configuraciones, como una gráfica, un diagrama, o una matriz, y se denomina en lo sucesivo en el presente documento "espectro". En un caso concreto, cuando el formato de amplitud frente a frecuencia adopta la configuración de una matriz, la matriz puede incluir las siguientes categorías de valores: identidad de cámara de combustión, frecuencia y amplitud.

En las realizaciones, el espectro puede dividirse por intervalo de frecuencia, o discretizarse, en una serie de bandas de frecuencia, donde cada banda tiene su propio límite superior predeterminado en términos de amplitud. El espectro puede discretizarse en cualquier número de bandas de frecuencia. En un caso concreto, el espectro se discretiza en 4-6 bandas de frecuencia, o ventanas, en función del tipo de motor GT 100 que se está poniendo a punto, donde cada banda de frecuencia expresa un parámetro diferente. Durante la operación, cuando el límite superior predeterminado (es decir, el límite de nivel de alarma) para una banda de frecuencia específica se supera, la programación indica al controlador de puesta a punto automática 150 qué división de flujo de combustible cambiar y en qué dirección (hacia arriba o hacia abajo) hacer un ajuste. En general, la división de flujo de combustible adecuada para cambiar y la manera adecuada de ajuste se seleccionan en función del tipo de datos medidos que se procesan (por ejemplo, las dinámicas o los niveles de emisión de la cámara de combustión) y la naturaleza de los datos medidos que se procesan (por ejemplo, el tono de dinámicas de cámara de combustión, el tipo de emisión, tal como NOx o CO).

En la etapa 440, se identifica una amplitud de presión dinámica máxima dentro de cada una de las bandas de frecuencia. Esta amplitud de presión dinámica máxima puede determinarse seleccionando la amplitud de presión dinámica máxima para cada clase de datos medidos (dinámicas de combustión 122) dentro de una o más de las bandas de frecuencia. Tanto el límite superior predeterminado (es decir, el nivel límite de alarma) como la amplitud de presión dinámica máxima derivada de cada banda de frecuencia se miden en términos de libras por pulgada cuadrada (psi).

Como se representa en la etapa 450, la amplitud de presión dinámica máxima identificada se compara con un límite superior predeterminado adecuado. (No hay un orden de prioridad específico para comparar o abordar las frecuencias máximas atípicas). Este límite superior predeterminado puede basarse en un tipo de datos medidos que se evalúan y/o en el circuito de combustible que se pone a punto. Tras la comparación, se realiza una determinación de si la amplitud de presión dinámica máxima supera el límite superior predeterminado, como se representa en la etapa 460. Si la amplitud de presión dinámica máxima no supera el límite superior predeterminado, de tal manera que el motor GT 100 está operando dentro de un intervalo sugerido con respecto a los datos medidos específicos, el proceso de puesta a punto se mueve a otra condición. Es decir, el proceso de puesta a punto continúa para monitorizar y evaluar otro conjunto de datos medidos, como se representa en la etapa 470. A modo de aclaración, solo la amplitud de presión dinámica se monitoriza en una serie de intervalos de frecuencia. Otros parámetros no están en función de los intervalos de frecuencia, sino que aún están sujetos a los límites de puesta a punto máximos.

Si, no obstante, la amplitud de presión dinámica máxima supera el límite superior predeterminado, se selecciona una división de flujo de combustible para el ajuste. Esto se indica en la etapa 480 de la figura 4. Como se ha analizado anteriormente, la división de flujo de combustible adecuada se selecciona mediante una programación, como se analiza con todo detalle a continuación con referencia a las figuras 2 y 3. A continuación, esta división de flujo de combustible seleccionada se ajusta gradualmente en una cantidad especificada previamente, como se representa en la etapa 490. El ajuste gradual de la división de flujo de combustible puede lograrse mediante el componente de ajuste 133 de la figura 1 transmitiendo un ajuste de desviación gradual 160 a al menos una de la pluralidad de cámaras de combustión 115 montadas en el motor GT 100. En una realización, las válvulas automáticas en las cámaras de combustión 115 ajustan la división de flujo de combustible para un circuito de combustible objeto en respuesta al reconocimiento del ajuste de desviación gradual entrante 160.

Esta cantidad predefinida se basa habitualmente en la experiencia de prueba y la identidad de la cámara de combustión (como se proporciona por la matriz). En un caso concreto, la cantidad predefinida de ajuste gradual es un ajuste del 0,25 % de la división de flujo de combustible entre los puertos de inyección. Por consiguiente, aumentando una división de flujo de combustible hacia arriba o hacia abajo la cantidad especificada previamente, se modifica el patrón de distribución de flujo de combustible a través de los puntos de inyección. No obstante, a pesar de que la división de flujo de combustible cambia, el flujo de combustible total hacia el circuito de combustible generalmente se mantiene constante.

Tras aplicar el ajuste de desviación gradual 160, el controlador de puesta a punto automática 150 espera un período de tiempo antes de adquirir y procesar los datos extraídos del motor GT 100. Esto se representa en la etapa 500 de la figura 4. Esperar el período de tiempo garantiza que el motor GT 100 se estabilice antes de comprobar para determinar si el ajuste de la división de flujo de combustible fue suficiente para poner a punto el motor GT 100. En las realizaciones, el período de tiempo que se espera entre los ajustes puede variar en función del parámetro, o los datos medidos, que se procesan. Por ejemplo, el período de tiempo requerido para estabilizar una dinámica de combustión puede ser menor que el período de tiempo requerido para estabilizar las emisiones.

En la etapa 510, se realiza una determinación para comprobar si se ha alcanzado un número máximo de incrementos. Si no se ha alcanzado el número máximo de incrementos con el que puede ajustarse la división de flujo de combustible, puede reiterarse el proceso. Por consiguiente, la división de flujo de combustible puede ajustarse al menos una vez más si la etapa de comparación 450 indica que se necesita un ajuste gradual adicional. No obstante, si se alcanza el número máximo de incrementos con los que puede ajustarse la división de flujo de combustible, entonces, o bien puede ajustarse otra división de flujo de combustible (según lo determine la programación), o se envía una alerta a un operario. Esto se representa en la etapa 520. En una realización, el componente de procesamiento 132 envía un indicador de alarma 180 al dispositivo informático 140. En respuesta a la alerta, el operario puede tomar medidas para poner a punto manualmente el motor GT 100 o contactar con un técnico para reparar el motor GT 100.

En algunas realizaciones, enviar una alerta al operario es la primera medida que se toma, según lo indicado por la programación. Es decir, si los datos medidos para un parámetro específico, tras procesar los datos a través de la transformada de Fourier, supera un límite superior predeterminado correspondiente, entonces la primera medida tomada es notificar al operario la discrepancia, en lugar de ajustar gradualmente una división de flujo de combustible.

Otra realización admite que el operario permita al controlador de puesta a punto automática 150 ajustar gradualmente la temperatura de gas combustible y/o la temperatura de disparo para lograr una operación de cumplimiento.

Volviendo ahora a la figura 2, se proporciona un diagrama a modo de ejemplo 200, o programación, que representa los ajustes de división de flujo de combustible recomendados para una condición rica en combustible, de acuerdo con una realización de la presente invención. Como se ilustra, el diagrama 200 incluye una indicación 210 del tipo de combustible que consume el motor GT que se está poniendo a punto. Además, el diagrama incluye una fila 220 que enumera las condiciones que se están monitorizando. En este diagrama a modo de ejemplo 200, hay cuatro condiciones que se monitorizan, que son los parámetros A-D. Aunque en este caso se monitorizan cuatro condiciones, el número de condiciones monitorizadas no debería interpretarse como limitante, ya que puede observarse cualquier número de condiciones para la puesta a punto automática del motor GT. Generalmente, los parámetros A-D pueden representar condiciones específicas que se miden usando transductores de presión, dispositivos de prueba de emisiones, acelerómetros y otros elementos que son capaces de monitorizar la operación del motor GT. A modo de ejemplo, el parámetro A puede representar un apagado por mezcla pobre (LBO), el parámetro B 221 puede representar un tono frío (CT), el parámetro C puede representar un tono caliente (HT) y el parámetro D puede representar óxidos de nitrógeno (NOx). Por consiguiente, en este ejemplo, los parámetros A-C se refieren a datos de presión, mientras que el parámetro D se refiere a una composición de gas. Habitualmente, la composición de gas se determina monitorizando los niveles de concentración de las emisiones (por ejemplo, CO y NOx). Un proceso de puesta a punto con ajustes graduales, similar al descrito anteriormente, puede usarse en relación con las condiciones que implican las emisiones.

Cada uno de los parámetros A-D se monitoriza automáticamente durante el proceso de puesta a punto. Además, los datos monitorizados durante el proceso de puesta a punto se procesan a través de la transformada de Fourier para determinar una amplitud máxima para cada condición. Si alguna de las amplitudes máximas para estas condiciones supera o cae por debajo de un límite predeterminado individual, asignado a cada uno de los parámetros A-D, respectivamente, se realizan las acciones 230.

A modo de ejemplo, si la amplitud máxima para el parámetro B 221 (por ejemplo, la condición CT) supera un límite superior predeterminado individual, asignado al parámetro B 221, las acciones 231, 232 y 233 se realizan en función del orden 250. Específicamente, si la amplitud de presión dinámica máxima para el parámetro B 221 supera el límite superior predeterminado, la DIVISIÓN 2 232 se aumenta inicialmente en la cantidad gradual, como lo indica el orden 250. A continuación, tras aumentar de manera recurrente la DIVISIÓN 2 232 una cantidad gradual hasta alcanzar el número máximo de ajustes para esa división de flujo de combustible, disminuye la DIVISIÓN 1 231. A continuación, si ajustar la DIVISIÓN 1 231 no es eficaz, se ejerce la DIVISIÓN 3 233. Por último, si ajustar la DIVISIÓN 3 233 no es eficaz para reducir la amplitud de frecuencia máxima por debajo del límite superior predeterminado, se envía una alarma a un operario. Como se reconocerá en el campo pertinente, el método a modo de ejemplo anterior es solo un ejemplo de un proceso para la puesta a punto automática de un motor específico, tal como el motor 7FA, y habrá diferentes métodos, que incluyen diferentes parámetros monitorizados y diversas divisiones de flujo de combustible, para la puesta a punto automática de otros motores.

Aunque se ha descrito una única configuración de una programación (por ejemplo, el diagrama 200) para seleccionar qué medidas tomar a la luz de los límites superiores predeterminados que se superan, los expertos en la materia deben entender y apreciar que pueden usarse otros tipos de programaciones adecuadas que proporcionan una jerarquía organizada de acciones, y que las realizaciones de la presente invención no se limitan a las condiciones y acciones de la programación descrita en el presente documento. Además, cabe señalar que el controlador de puesta a punto automática puede usarse con una diversidad de sistemas de combustión. Por consiguiente, la presente invención no se limita a solo tres ajustes de división de combustible. La cantidad exacta de boquillas de combustible y divisiones de flujo de combustible puede variar dependiendo de la configuración de la cámara de combustión y el tipo de motor GT que se está poniendo a punto. Por lo tanto, para un sistema de combustión diferente, el número de puntos de ajuste podría ser mayor o menor que los representados en la presente divulgación sin alejarse de la esencia de la presente invención.

Además, el diagrama 200 representa ajustes en las divisiones de flujo de combustible en respuesta a múltiples bandas de frecuencia para diversas condiciones monitorizadas. En el caso de que múltiples frecuencias superen sus límites superiores predeterminados respectivos, el controlador de puesta a punto automática no establecerá ninguna preferencia o prioridad para determinar qué frecuencia abordar en primer lugar. No obstante, en otros casos, el controlador de puesta a punto automática 150 de la figura 1 utiliza algunas pautas preferenciales para tomar decisiones sobre en qué orden se abordan las frecuencias.

Haciendo referencia a la figura 3, se muestra un diagrama a modo de ejemplo 300 que representa los ajustes de división de flujo de combustible recomendados 320 para una cámara de combustión que está provista de dos puertos de inyección, de acuerdo con una realización de la presente invención. Debido a que solo se proporcionan dos puertos de inyección, solo hay una división de flujo de combustible que puede ajustarse para distribuir el combustible entre los puertos de inyección proporcionados. Además, en este caso, se miden dos condiciones 310 del motor GT que se está poniendo a punto. Estas condiciones 310 están representadas por el parámetro A y el parámetro B. Si el parámetro A o el parámetro B supera un límite superior predeterminado correspondiente, la programación indica cuál de los ajustes de división de flujo de combustible 320 tomar. Si ajustar la división de flujo de combustible prescrita un número máximo recomendado de veces no lleva el motor GT a un intervalo operativo normal, entonces la siguiente etapa consistirá en enviar una alarma a un operario o hacer una llamada automática a un técnico.

Pasando ahora a la figura 5, se proporciona un método a modo de ejemplo 500 de reducción ampliada automática combinada con una puesta a punto gradual para mantener la emisión y las dinámicas de un motor GT, de acuerdo con una realización de la presente invención. En una primera etapa 502, se recibe una entrada para realizar una AET en el motor GT. Esta entrada puede recibirse de un operario que presiona el botón "buscar carga mínima". En este sentido, el algoritmo de reducción no se activa automáticamente cuando el motor GT funciona con AGC. En una segunda etapa 504, uno o más criterios de reducción, tales como los criterios de reducción descritos en el presente documento, del motor GT se monitorizan para determinar si se cumplen todos del uno o más criterios de reducción. En este sentido, los criterios operativos del motor GT pueden monitorizarse para determinar si existe un problema que influiría negativamente, detendría o requeriría la cancelación del proceso de AET, como que se haya superado uno de los criterios de reducción. Si se determina que la TTRF mínima es demasiado baja, como cuando uno de los criterios de reducción se incumple inherentemente antes de comenzar la AET, puede iniciarse un proceso para elevar la TTRF mínima. De lo contrario, en una tercera etapa 506, tras determinar que se cumplen todos del uno o más criterios de reducción, se modifica temporalmente una TTRF de transferencia (por ejemplo, esto puede producirse si la diferencia entre una TTRF actual y la TTRF de transferencia es menor que una cantidad configurada). En una cuarta etapa 508, se envía una señal para reducir una carga en el motor GT en una cantidad especificada (por ejemplo, 5 megavatios). En una quinta etapa 510, durante y después de que se haya reducido la carga, se monitoriza el uno o más criterios de

reducción para determinar si no se cumple alguno del uno o más criterios de reducción. Si se cumplen todos los criterios de reducción, la carga puede reducirse nuevamente la cantidad especificada u otra cantidad, continuando la AET. En una sexta etapa 512, tras determinar que al menos uno del uno o más criterios de reducción no se cumple después de que se haya reducido la carga, se pone a punto la carga un número seleccionado de veces hasta que el al menos un criterio de reducción no se cumpla el número seleccionado de veces. En una séptima etapa 514, después de que el al menos un criterio de reducción no se cumpla el número seleccionado de veces, se almacena una TTRF de reducción de carga mínima cuando se hayan cumplido todos los criterios de reducción para una CTIM seleccionada. La TTRF de reducción de carga mínima que se almacena puede ser el nivel de carga inmediatamente anterior al nivel de carga en el que la puesta a punto falló el número seleccionado de veces, u otro nivel de carga. Posteriormente, puede calcularse una TTRF de transferencia y una TTRF operativa a partir de la TTRF de reducción de carga mínima, como se ha descrito en el presente documento.

Haciendo referencia a la figura 6, se proporciona un sistema 600 de reducción ampliada automática combinada con una puesta a punto gradual para mantener la emisión y las dinámicas de un motor GT, de acuerdo con una realización de la presente invención. El sistema 600 incluye un dispositivo de entrada de usuario 602, que puede configurarse para recibir órdenes o instrucciones de un operario (por ejemplo, a través de botones o mandos de puesta a punto), un dispositivo de visualización de usuario 604, que puede configurarse para recibir y visualizar información procedente de un controlador de puesta a punto automática 606 u otros componentes, y que puede ser una pantalla de interfaz hombre-máquina ("HMI"), y el controlador de puesta a punto automática 606 que puede configurarse para controlar las reducciones de carga graduales en el motor GT, controlar el proceso de puesta a punto y recibir información relacionada con uno o más criterios monitorizados, entre otras cosas. El sistema comprende además un controlador de carga 608, que puede configurarse para recibir indicaciones del controlador de puesta a punto automática 606 para aumentar o disminuir una carga en un motor GT 610. El motor GT 610 tiene una primera cámara de combustión 612 y una segunda cámara de combustión 614.

Adicionalmente, el sistema 600 incluye varios componentes de monitorización 616, 618, 620, que están configurados para recibir información relacionada con las emisiones o dinámicas del motor GT 610. En este sistema a modo de ejemplo 600, el primer componente de monitorización 616 proporciona información relacionada con el CO del motor GT 610, el segundo componente de monitorización 618 proporciona información relacionada con una división de combustible del motor GT (que puede estar relacionada con la puesta a punto del motor GT), y el tercer componente de monitorización 620 proporciona información relacionada con NOx, una salida de emisión del motor GT. Son posibles múltiples configuraciones del sistema 600, donde los componentes de monitorización 616, 618, 620 envían información directamente al dispositivo de salida de usuario 604 o una unidad de control o procesamiento de turbina (no mostrada). Adicionalmente, cualquier número de diversos criterios operativos pueden monitorizarse por componentes de monitorización adicionales o diferentes, estando los componentes de monitorización configurados para proporcionar retroalimentación a un operario a través del controlador de puesta a punto automática 606 y/o el dispositivo de visualización de usuario 604. Los componentes del sistema 600 pueden conectarse de diferentes maneras para enviar información u órdenes a, desde o a través de cualquiera de los componentes identificados.

Haciendo referencia a la figura 7, se proporciona un método a modo de ejemplo 700 de reducción ampliada automática combinada con una puesta a punto gradual para mantener la emisión y las dinámicas de un motor GT, de acuerdo con una realización de la presente invención. En una etapa 702, uno o más criterios de reducción, tales como los criterios de reducción descritos en el presente documento, del motor GT se monitorizan para determinar si se cumplen todos del uno o más criterios de reducción. Los criterios de reducción pueden estar relacionados con las emisiones y las dinámicas del motor GT, como se ha analizado anteriormente, y también pueden incluir una división de flujo de combustible para medir la capacidad de puesta a punto disponible. En una etapa 704, tras determinar que se cumplen el uno o más criterios de reducción, una TTRF de transferencia se reduce temporalmente si la diferencia entre una TTRF actual y la TTRF de transferencia es menor que una cantidad configurada, con el fin de evitar que el motor GT se salga del modo de combustible premezclado cuando se reduce la carga para calcular una nueva TTRF mínima. En una etapa 706, se envía una señal para reducir una carga en el motor GT en una cantidad especificada. En una etapa 708, durante y después de que se haya reducido la carga, se monitoriza el uno o más criterios de reducción para determinar si no se cumple alguno del uno o más criterios de reducción. En una etapa 710, tras determinar que alguno del uno o más criterios de reducción no se cumple después de que se haya reducido la carga, la carga se pone a punto un número seleccionado de veces hasta que el criterio de reducción que no se cumple no se haya cumplido el número seleccionado de veces. El número seleccionado de veces para la puesta a punto puede elegirse en función de un nivel deseado de certeza en el proceso de puesta a punto (por ejemplo, una vez para una certeza mínima, tres veces para una mayor certeza). Adicionalmente, si el proceso de puesta a punto restaura el uno o más criterios que no se cumplen a una condición cumplida de tal manera que se cumplan todos los criterios monitorizados, el proceso de AET puede continuar, reduciendo la carga otra etapa. En una etapa 712, tras determinar que el criterio de reducción que no se cumple no se ha cumplido el número seleccionado de veces, se almacena la nueva reducción de carga mínima TTRF, siendo la TTRF de reducción de carga mínima la TTRF a la que se han cumplido todos del uno o más criterios de reducción para una CTIM seleccionada.

Haciendo referencia a la figura 8, se proporciona un diagrama 800 que muestra una representación gráfica de una TTRF mínima seleccionada, una TTRF de transferencia y una TTRF de carga operativa más baja, así como también

criterios operativos monitorizados de un motor GT, de acuerdo con un aspecto de la presente invención. En la figura 8, el eje X 802 muestra la temperatura de referencia de turbina (TTRF), y el eje Y 804 muestra partes por millón de emisiones. Una diversidad de emisiones y parámetros dinámicos, o criterios, se muestran representados en la gráfica. Estos criterios se monitorizan con el fin de monitorizar las emisiones y dinámicas del motor GT. Estos criterios no son limitantes, y pueden considerarse o incluirse criterios de emisiones o dinámicas adicionales. Tres puntos de referencia de TTRF diferentes 806, 808, 810 se muestran como líneas verticales en el diagrama. La TTRF mínima 806 es la temperatura más baja de los puntos de referencia de TTRF y se establece en función de las razones expuestas con respecto a la transferencia del modo de combustible, extinción de la llama y otras condiciones de alarma. La TTRF de transferencia 808 es un margen seleccionado superior a la TTRF mínima 806, como se ha descrito en el presente documento. La TTRF operativa 810 es el más alto de los puntos de referencia de TTRF. La TTRF operativa 810 representa la temperatura a la que el motor GT es el más adecuado para funcionar durante un período prolongado de tiempo en el modo de combustible premezclado, como se ha descrito en el presente documento. A medida que se realiza el proceso de AET y se reduce la carga en el motor GT, la TTRF de transferencia 808 se reducirá temporalmente (es decir, se mueve a la izquierda), y la TTRF operativa 810 se reducirá secuencialmente a medida que se monitoricen las condiciones operativas. Como tal, cuando se determina la TTRF de reducción de carga mínima usando el método descrito en el presente documento, todas las líneas se moverán a la izquierda para corresponder a los nuevos puntos de referencia de TTRF.

Haciendo referencia a la figura 9, un diagrama 900 que muestra una ilustración gráfica de una AET con una puesta a punto gradual a modo de ejemplo realizada en un motor GT, incluyendo criterios operativos monitorizados, se proporciona, de acuerdo con un aspecto de la presente invención. En la figura 9, el eje X de puesta a punto 904 muestra el tiempo, el eje Y de lado izquierdo 902 muestra la TTRF del motor GT, el eje Y de lado derecho 903 muestra el nivel de emisiones en partes por millón asociadas con el motor GT. En $X = 0$, el punto de partida, la TTRF 906 es de aproximadamente $1276,66\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($2330\text{ }^{\circ}\text{F}$). A medida que la reducción de carga gradual se realiza en el motor GT, la carga disminuye en cada etapa una cantidad establecida 908. A medida que disminuye la carga, se monitorizan diversos criterios para determinar si los criterios están dentro de los límites permitidos. En este ejemplo, los criterios son NO_x promedio 926, CO promedio 924 y desviación de PM_{10} 922. Siempre que estos criterios se mantengan dentro del intervalo especificado, la AET continuará, haciendo reducciones de carga graduales 908. Cuando la TTRF se ha reducido gradualmente hasta un punto 910 donde un criterio está fuera de un límite permitido, la puesta a punto gradual 912 se realiza ajustando la desviación de PM_{10} (división de flujo de combustible) mientras se mantiene la TTRF en el punto 910. En este caso, los criterios monitorizados vuelven a ponerse a punto con la puesta a punto gradual 912 de la desviación de PM_{10} , permitiendo que la AET continúe. A medida que la carga se reduce nuevamente, y cuando la TTRF alcanza un punto 914 en el que un parámetro está fuera de los límites configurados, la desviación de PM_{10} 915 se ajusta nuevamente para poner a punto el motor GT. En este caso, la desviación de puesta a punto PM_{10} 915 se agota en su capacidad de poner a punto la carga seleccionada después de un número seleccionado de intentos. Posteriormente, la carga se aumenta a la última TTRF 916 en la que se cumplieron todos los criterios de puesta a punto y el motor GT estaba a punto. Esta se convierte en la nueva TTRF de reducción de carga mínima 916 para el motor GT. Una nueva TTRF de transferencia 918 se calibra añadiendo un primer margen de puesta a punto seleccionado a la TTRF de reducción de carga mínima 916 y una nueva TTRF operativa 920 se calibra añadiendo un segundo margen de puesta a punto seleccionado a la TTRF de reducción de carga mínima 916. En $X = 600$, el motor GT ahora está a punto, con una nueva TTRF de reducción de carga mínima 916 establecida.

Una lógica de reducción multietapa específica puede usarse para realizar los métodos y etapas enumerados. El motor GT necesita que el AGC esté apagado y el operario debe activar el proceso de reducción para encontrar una nueva carga mínima. El sistema puede pausarse si las dinámicas están fuera de punto. Puede iniciarse una comprobación de llamada para determinar si todos los criterios de reducción están permitidos. Estos criterios de reducción podrían incluir: (1) ver si el sistema funciona correctamente, (2) ver si se alcanza un límite de alarma, (3) comprobar si se han alcanzado los límites de puesta a punto, (4) comprobar si se han alcanzado otros límites, y (5) si ninguno de estos criterios está en error, indicar que todo está a punto. Si se produce un error de reducción, puede cancelarse/salirse de la reducción, y si no se produce un error de reducción, pero se requiere una mayor carga para mantener las emisiones y dinámicas, la carga puede aumentarse en una etapa, y, a continuación, reiniciarse el proceso, comenzando por volver a comprobar los criterios de reducción. Si se requiere una puesta a punto, la puesta a punto se realiza tres veces si pueden moverse los mandos de puesta a punto. Si la puesta a punto se realiza tres veces o los mandos de puesta a punto no pueden moverse y el motor GT todavía está fuera de punto, la carga se aumenta en una etapa y se reinicia el proceso. Si el aspecto fuera de punto se elimina moviendo los mandos, el proceso se reinicia para determinar si se requiere un aumento o disminución de la carga. Si se han alcanzado los límites de puesta a punto, la carga puede aumentarse una etapa.

Si todo está a punto después del proceso anterior, puede seguirse una de dos opciones. Si se ha alcanzado una TTRF promedio mínima en la etapa anterior, la puesta a punto está completa. Si no se ha alcanzado la TTRF promedio mínima, entonces se disminuye la TTRF promedio. En este aspecto, la banda muerta de transferencia se modifica temporalmente si la diferencia entre la TTRF promedio actual y la TTRF de transferencia es inferior a $-1,11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($30\text{ }^{\circ}\text{F}$) (configurado por el usuario), para evitar la transferencia del modo de combustible premezclado cuando se reduce la carga. A continuación, la carga se reduce una etapa. El proceso se repite comenzando en el punto de comprobación de criterios de reducción. Después de este ciclo recurrente, debe establecerse la TTRF promedio mínima si no hay

errores de reducción.

Si se ha producido un error de reducción después de las etapas anteriores, la TTRF promedio mínima se compara con la TTRF mínima almacenada, en cuyo caso la TTRF promedio mínima se actualiza si la TTRF promedio mínima es menor que la TTRF mínima almacenada. Si la TTRF fuera de punto es más alta que una TTRF mínima almacenada, entonces la TTRF mínima es la TTRF fuera de punto más 5 grados (u otro margen seleccionado). La TTRF mínima donde se pasaron todos los criterios de reducción se almacena como la TTRF mínima para una CTIM dada, tal como se ha analizado anteriormente. La TTRF de transferencia se modifica añadiendo un margen seguro deseado a la TTRF mínima, y la TTRF operativa se modifica añadiendo un segundo margen seguro deseado mayor que el primer margen seguro a la TTRF mínima. A continuación, la carga en el motor GT se aumenta hasta que la diferencia entre la TTRF promedio y la TTRF operativa es la cantidad mínima permitida. La carga comunicada mínima corresponde a la TTRF de reducción promedio, y la banda muerta de transferencia se actualiza, tal como se ha analizado anteriormente. La nueva carga mínima se visualiza en la pantalla HMI y se completa la puesta a punto. La lógica de reducción puede repetirse de manera recurrente hasta que se encuentre una nueva carga mínima. En cada punto, si no se produce ningún error que finalice o cancele el proceso de reducción, el proceso puede repetirse de manera recurrente desde el punto donde se comprueban los criterios de reducción.

La lógica de reducción de puesta a punto automática también puede incluir una lógica de evitación de extinción de llama. Como un ejemplo representativo de la lógica de evitación de extinción de llama, el margen de puesta a punto PM1 puede establecerse en un 3 %, la reserva de puesta a punto PM1 al 0,5 %, y la asignación de puesta a punto PM1 mínima puede ser del 5 %, con una desviación de PM1 del -4 %. La lógica de reducción se activa cuando una TTRF está entre una TTRF de reducción máxima definida por el usuario y la TTRF mínima. Si el motor GT está fuera de punto y la desviación de PM1 está entre el 0 y el -2,5 %, continúa la operación estándar del motor GT. Si el motor GT está fuera de punto y la desviación de PM1 está entre el -2,5 y el -3 %, se activa una alarma de operario que indica que la puesta a punto automática está usando el margen de puesta a punto de reserva e indica que el operario debe sacar la máquina del AGC y activar "buscar carga mínima". Si el motor GT está fuera de punto y la desviación de PM1 está entre el -3 % y el -4 %, el motor GT debe ponerse a punto con una desviación de PM1 ampliada que corresponde a una posición de válvula PM1 mínima de carga operativa más baja. El usuario puede establecer este valor a partir del conocimiento de la posición de válvula PM1 mínima real y un margen requerido entre la carga operativa más baja y el punto de transferencia basado en la experiencia de puesta a punto manual.

Como un ejemplo representativo de la lógica de evitación de extinción de llama automática aumentando la relación de combustible total, si un motor GT está fuera de punto y la desviación de PM1 es inferior al -4 %, debe activarse una alarma operativa que indique que "la puesta a punto automática ha agotado el margen de puesta a punto de reserva al entrar al modo de evitación, sacar la máquina del AGC y presionar encontrar carga operativa más baja para restablecer la carga operativa más baja inmediatamente". Si el motor GT está fuera de punto y la isoterma aumenta, la puesta a punto automática solicitará automáticamente que el algoritmo de reducción restablezca la carga mínima. A continuación, el operario recibirá la alarma "evitación inmediata de la carga operativa más baja, la puesta a punto automática está elevando la carga, restablecer el punto de carga operativo más bajo".

Pueden obtenerse diversos beneficios derivados de la puesta a punto automática cuando se compara la puesta a punto automática con los procesos de puesta a punto actuales. Es decir, debido a que el proceso de puesta a punto de la presente invención puede implementarse automáticamente, se superan las desventajas de la puesta a punto manual. Por ejemplo, la puesta a punto automática puede realizarse rápida y frecuentemente, lo que evitará sustancialmente la degradación que se habría producido antes de la puesta a punto manual. Además, una puesta a punto frecuente reduce el exceso de contaminantes/promueve emisiones más bajas mientras mejora la vida útil del motor.

La presente invención se ha descrito en relación con realizaciones específicas, que están destinadas en todos los aspectos a ser ilustrativas más que restrictivas. Las realizaciones alternativas serán evidentes para los expertos en la materia a la que pertenece la presente invención sin alejarse de su alcance.

A partir de lo anterior, se verá que la presente invención está bien adaptada para alcanzar todos los fines y objetos expuestos anteriormente, junto con otras ventajas que son evidentes e inherentes al sistema y el método. Se entenderá que ciertas características y combinaciones secundarias son de utilidad y pueden emplearse sin referencia a otras características y combinaciones secundarias. Esto está contemplado por y dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método computarizado (500, 700), implementado por una unidad de procesamiento, para una reducción ampliada automática de una cámara de combustión de un motor de turbina de gas (motor GT), comprendiendo el método: recibir (502) una entrada para realizar una reducción ampliada automática en el motor GT; monitorizar (504, 702) uno o más criterios de reducción del motor GT para determinar si se cumplen todos del uno o más criterios de reducción; tras determinar que se cumplen todos del uno o más criterios de reducción, reducir temporalmente (506, 704) una temperatura de referencia de turbina de transferencia (TTRF) si la diferencia entre la temperatura de referencia de turbina actual (TTRF) y la temperatura de referencia de turbina de transferencia (TTRF) del motor de turbina de gas (motor GT) es menor que una cantidad configurada; en el que la temperatura de referencia de turbina de transferencia (TTRF) se calcula añadiendo un primer margen de temperatura seleccionado a una temperatura de referencia de turbina de reducción de carga mínima (TTRF); en el que el primer margen de temperatura seleccionado se selecciona basándose en un margen de seguridad; enviar (508, 706) una señal para reducir una carga en el motor de turbina de gas (motor GT) en una cantidad especificada; durante y después de que se haya reducido la carga, monitorizar (510, 708) el uno o más criterios de reducción para determinar si no se cumple alguno del uno o más criterios de reducción; tras determinar que al menos uno del uno o más criterios de reducción no se cumple después de que se haya reducido la carga, ajustar (512, 710) la carga un número seleccionado de veces hasta que el al menos un criterio de reducción no se cumpla el número seleccionado de veces; y después de que el al menos un criterio de reducción no se haya cumplido el número seleccionado de veces, almacenar (514, 712) una temperatura de referencia de turbina de reducción de carga mínima (TTRF) cuando se hayan cumplido todos los criterios de reducción para una temperatura de entrada de compresor seleccionada (CTIM); en el que tras determinar si se cumple alguno del uno o más criterios de reducción, se reduce de nuevo la carga en la cantidad especificada o una cantidad especificada modificada.
2. El método de la reivindicación 1, en el que la temperatura de entrada de compresor seleccionada (CTIM) comprende uno o más intervalos de temperatura de entrada de compresor (CTIM).
3. El método de la reivindicación 1, que comprende además calcular una temperatura de referencia de turbina operativa (TTRF), calculándose la temperatura de referencia de turbina operativa (TTRF) añadiendo un segundo margen de temperatura seleccionado a la temperatura de referencia de turbina de reducción de carga mínima (TTRF).
4. El método de la reivindicación 3, en el que el segundo margen de temperatura seleccionado es mayor que el primer margen de temperatura seleccionado.
5. El método de la reivindicación 4, en el que la unidad de procesamiento está configurada para generar una alarma para volver a comprobar la temperatura de referencia de turbina de reducción de carga mínima (TTRF) cuando la temperatura de entrada de compresor (CTIM) cambia de un primer intervalo de temperatura de entrada de compresor a un segundo intervalo de temperatura de entrada de compresor.
6. El método de la reivindicación 1, en el que los criterios de reducción comprenden al menos uno de: un nivel de óxido de nitrógeno (NOx); un modo de dinámicas de cámara de combustión; un nivel de monóxido de carbono (CO) promedio; o divisiones de circuito de combustible.
7. Un sistema para la reducción ampliada automática, comprendiendo el sistema: un motor de turbina de gas (motor GT 110) que incluye una o más cámaras de combustión (115) que están provistas de una primera temperatura de referencia de turbina mínima (TTRF), una primera temperatura de referencia de turbina de transferencia (TTRF) y una primera temperatura de referencia de turbina operativa (TTRF); un controlador de puesta a punto automática (150) configurado para realizar un proceso de reducción ampliada automática que comprende: recibir una entrada para realizar el proceso de reducción ampliada automática; monitorizar uno o más criterios de reducción para determinar si se cumplen todos del uno o más criterios de reducción; tras determinar que se cumplen todos del uno o más criterios de reducción, reducir temporalmente la primera temperatura de referencia de turbina de transferencia (TTRF) a una segunda temperatura de referencia de turbina de transferencia (TTRF) si la diferencia entre la temperatura de referencia de turbina actual (TTRF) y la primera temperatura de referencia de turbina de transferencia (TTRF) es menor que una cantidad configurada; en el que la temperatura de referencia de turbina de transferencia (TTRF) se calcula añadiendo un primer margen de temperatura seleccionado a una temperatura de referencia de turbina de reducción de carga mínima (TTRF); en el que el primer margen de temperatura seleccionado se selecciona basándose en un margen de seguridad; enviar una señal para reducir una carga en el motor de turbina de gas (motor GT) en una cantidad especificada; durante y después de que se haya reducido la carga, monitorizar el uno o más criterios de reducción para determinar si no se cumple alguno del uno o más criterios de reducción; tras determinar que alguno del uno o más criterios de reducción no se cumple durante o después de que se haya reducido la carga, ajustar la carga un número seleccionado de veces hasta que el criterio de reducción que no se cumple no se cumpla el número seleccionado de veces; y después de que el criterio de reducción que no se cumple no se haya cumplido el número seleccionado de veces, almacenar una segunda temperatura de referencia de turbina mínima (TTRF) cuando se cumplan todos los criterios de reducción para una temperatura de entrada de compresor seleccionada (CTIM).

8. El sistema de la reivindicación 7, que comprende además un controlador de carga configurado para recibir órdenes del controlador de puesta a punto automática para aumentar o disminuir una carga en el motor de turbina de gas (motor GT).
- 5 9. El sistema de la reivindicación 7, que comprende además calcular una nueva temperatura de referencia de turbina de transferencia (TTRF) añadiendo un primer margen de temperatura seleccionado a la segunda temperatura de referencia de turbina mínima (TTRF).
10. El sistema de la reivindicación 7, que comprende además calcular una nueva temperatura de referencia de turbina operativa (TTRF) añadiendo un segundo margen de temperatura seleccionado a la segunda temperatura de referencia de turbina mínima (TTRF).
- 10 11. El sistema de la reivindicación 7, que comprende además: comprobar los criterios de reducción para determinar si se ha alcanzado un límite de puesta a punto; y determinar una nueva temperatura de referencia de turbina mínima más alta (TTRF).
- 15 12. El sistema de la reivindicación 7, en el que los criterios de reducción comprenden al menos uno de: un nivel de óxido de nitrógeno (NOx); un modo de dinámicas de cámara de combustión; un nivel de monóxido de carbono (CO) promedio; o divisiones de circuito de combustible.
13. Un medio legible por ordenador que tiene almacenado en el mismo un programa informático que comprende instrucciones para hacer que el dispositivo de la reivindicación 7 ejecute las etapas del método para la reducción ampliada automática de un motor de turbina de gas como se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6.

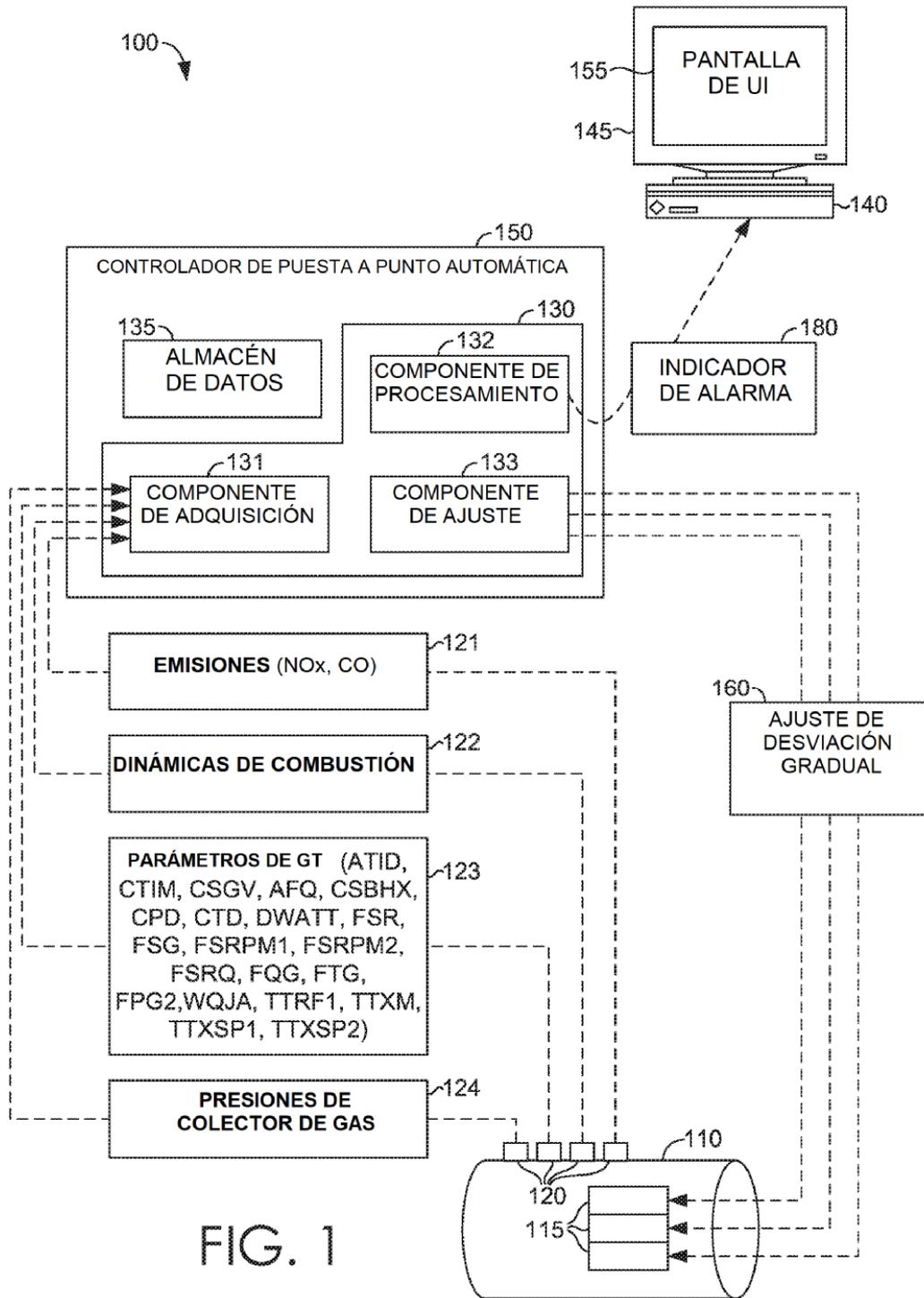


FIG. 1

200

210 TIPO DE PROGRAMACIÓN DE COMBUSTIBLE				
220 HACIA ↓ PARÁMETRO A		221 HACIA ↓ PARÁMETRO B		232 HACIA ↓ PARÁMETRO C
230 ↑ DIVISIÓN 1 (1)		↓ DIVISIÓN 1 (2)		↑ DIVISIÓN 1 (3)
↑ DIVISIÓN 2 (3)		↑ DIVISIÓN 2 (1)		↓ DIVISIÓN 2 (1)
↓ DIVISIÓN 3 (2)		↓ DIVISIÓN 3 (3)		↑ DIVISIÓN 3 (2)
		233		250

FIG. 2

300

310		PARÁMETRO A	PARÁMETRO B
320		AUMENTAR DIVISIÓN DE FLUJO DE COMBUSTIBLE	DISMINUIR DIVISIÓN DE FLUJO DE COMBUSTIBLE

FIG. 3

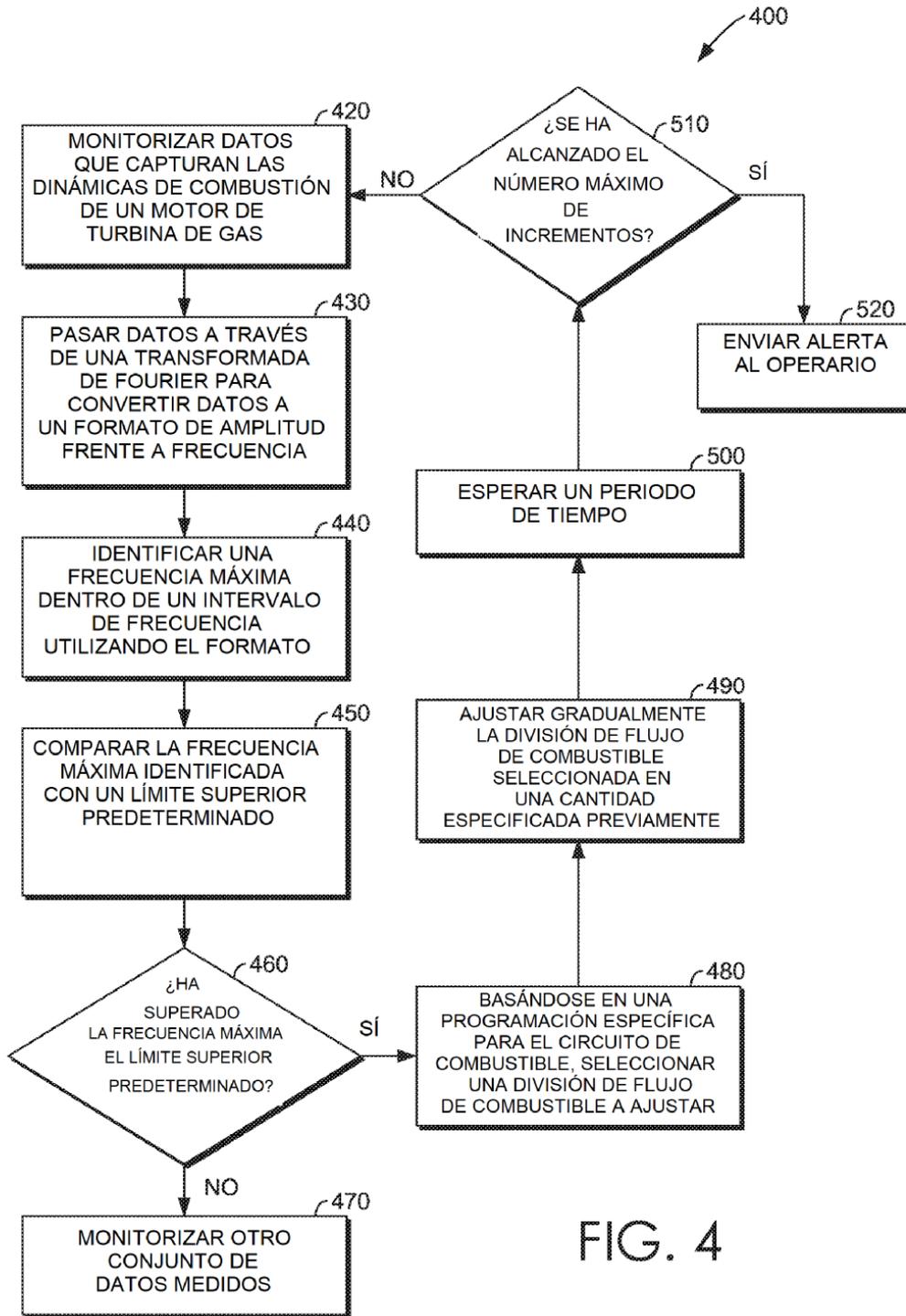


FIG. 4

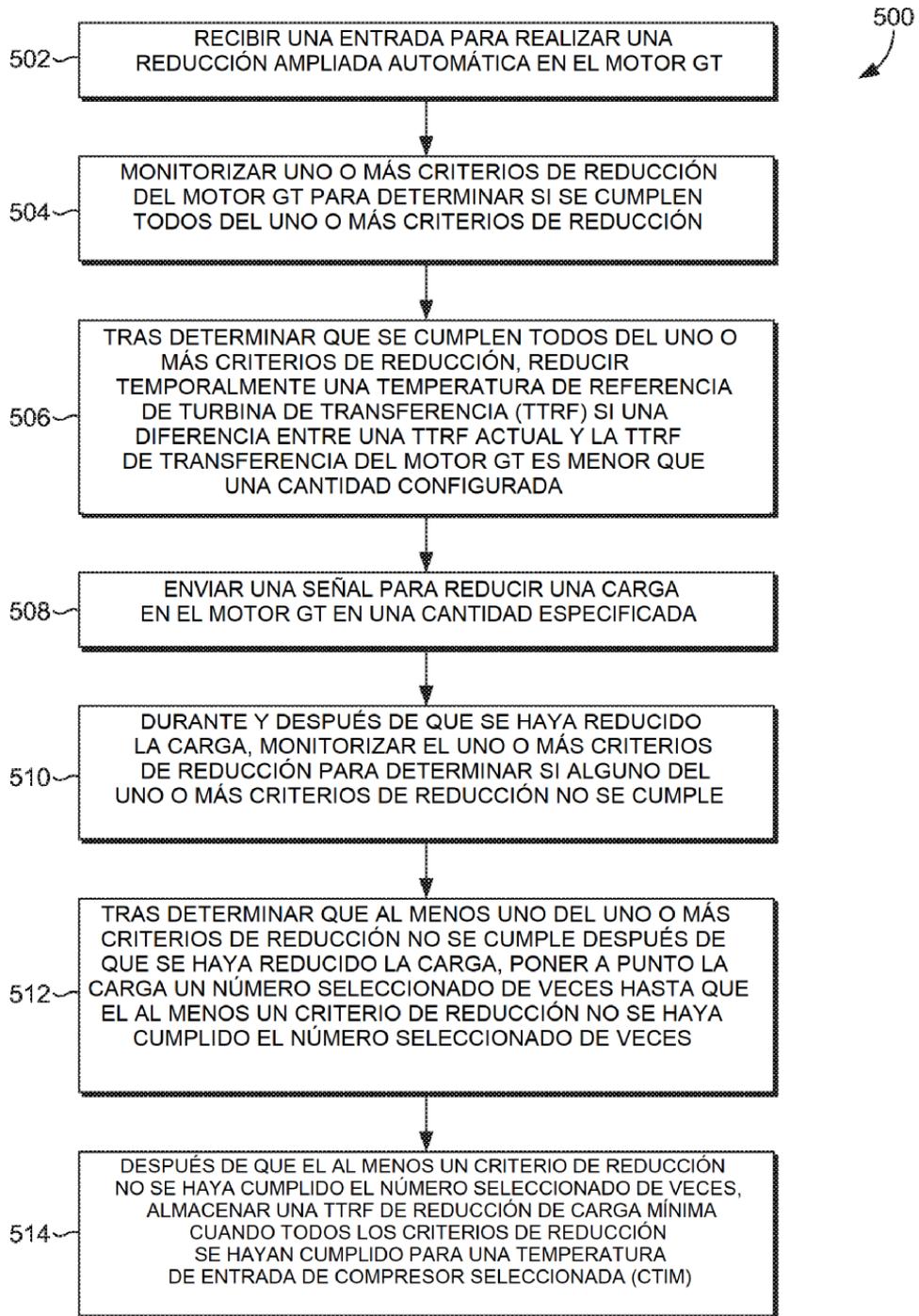


FIG. 5

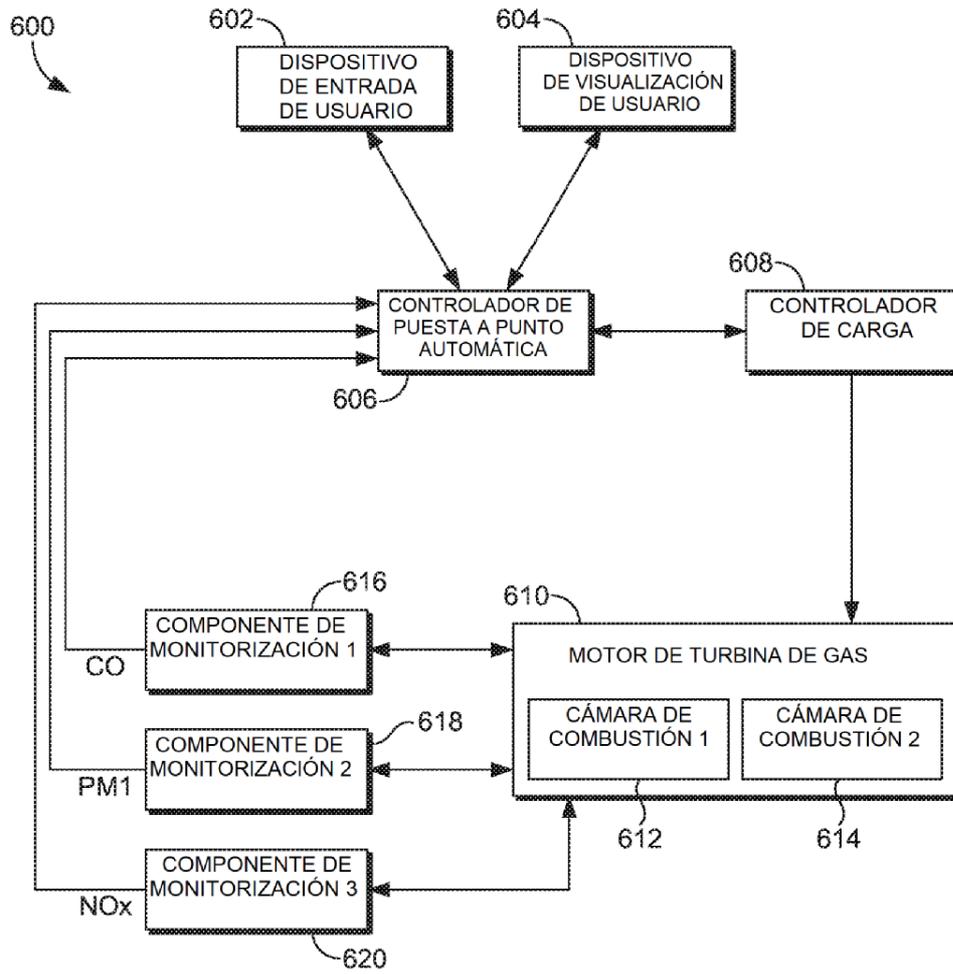


FIG. 6

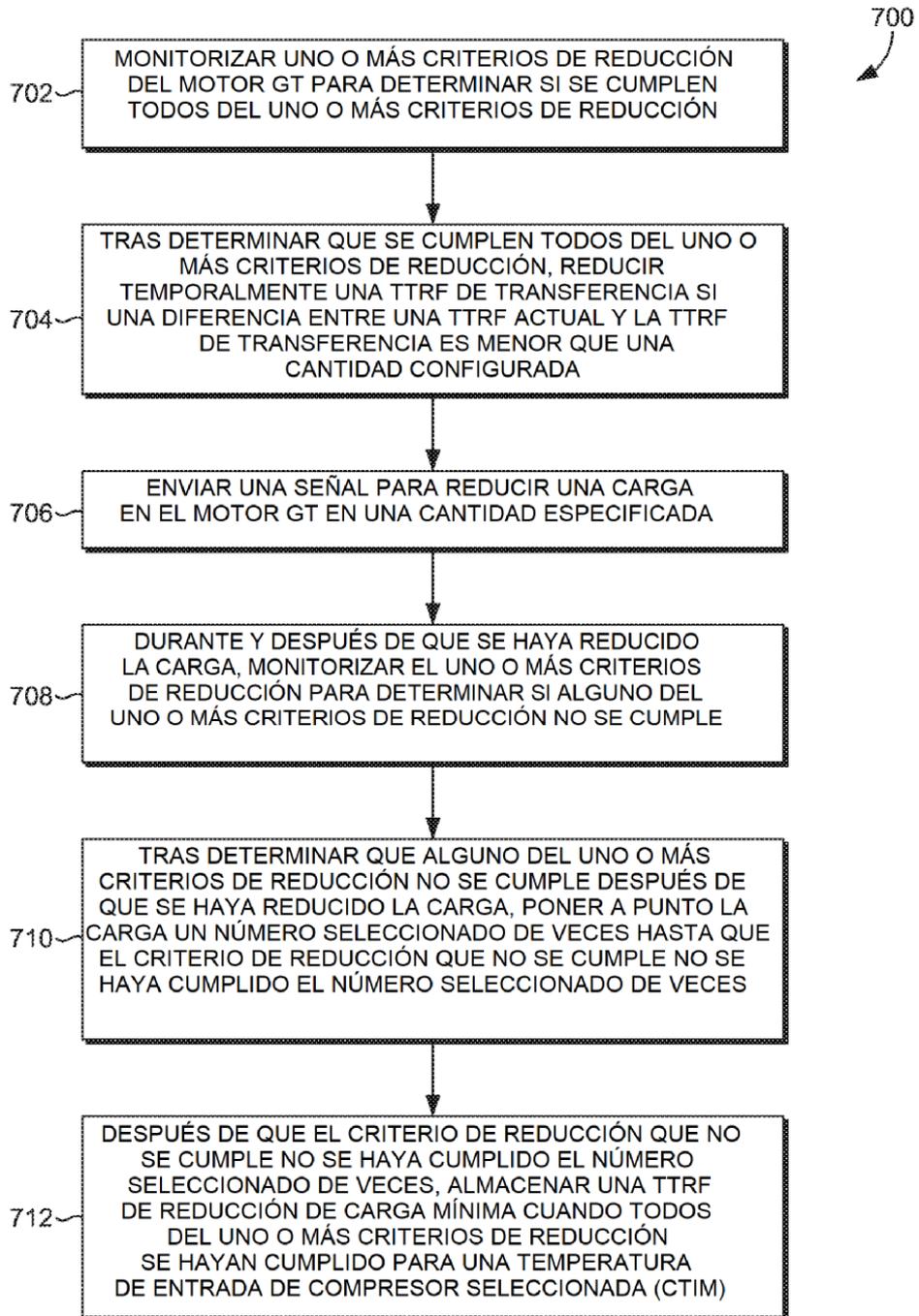


FIG. 7

Dinámicas máximas (psi pk-pk)

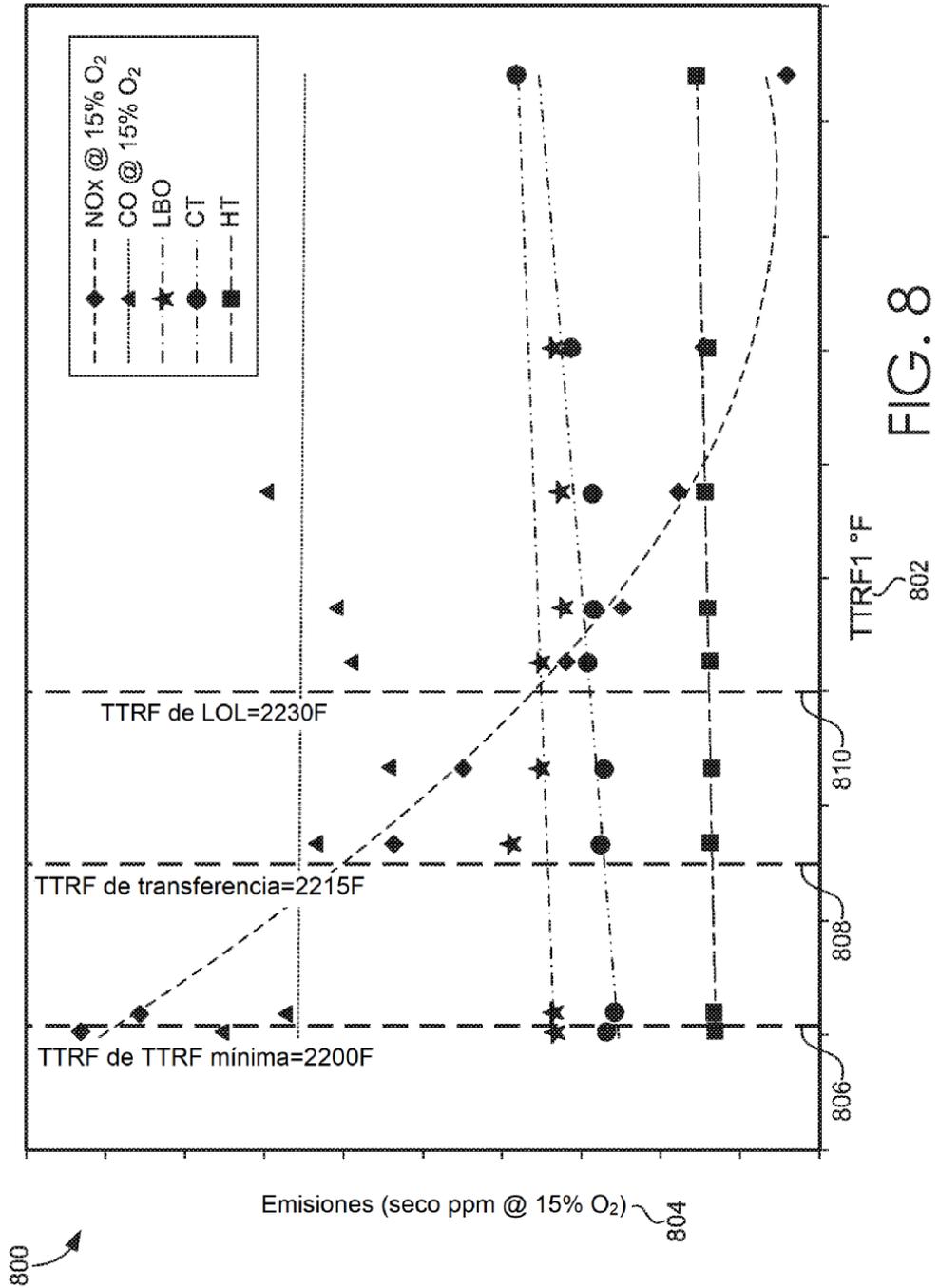


FIG. 8

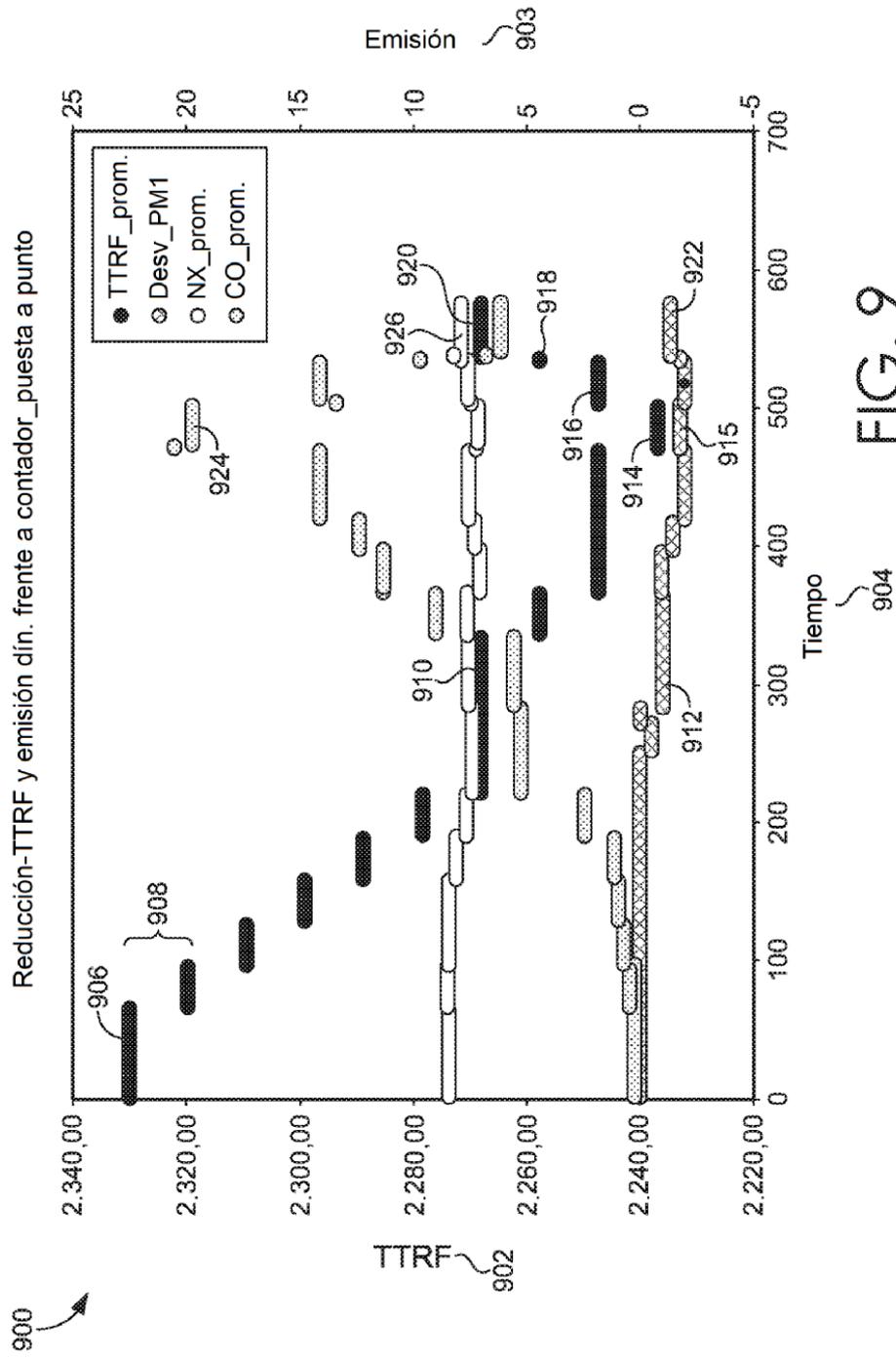


FIG. 9